



Estudo da possibilidade de utilização de resíduos de origem agro-pecuária compostados, em substituição de turfa, na produção de viveiros hortícolas

Rita Margarida Sintra de Carvalho

Dissertação para obtenção do grau de mestre em
Engenharia Agrónómica

Orientadora: Professora Doutora Maria Odete Pereira Torres

Co-orientadora: Professora Doutora Elizabeth C. N. F. d' Almeida Duarte

Júri:

Presidente: Doutor António J. S. de Almeida Monteiro, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais: Doutora Elizabeth C. N. F. d' Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Doutora Cristina M. M. Simões Oliveira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutora Maria Odete Pereira Torres, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Lisboa, 2009

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à minha Orientadora Professora Doutora Maria Odete Pereira Torres, cuja ajuda e amizade foram fundamentais para manter o ânimo e rigor deste trabalho.

À Professora Doutora Elizabeth C. N. F. d' Almeida Duarte, minha Co-Orientadora, pela palavra amiga de incentivo e por ter facultado a utilização do laboratório 9 do Departamento de Química Agrícola e Ambiental.

A todos os funcionários do laboratório, em especial ao Sr. Domingos Figueiredo e ao Sr. Carlos Fonseca que me ajudaram nas análises lá efectuadas.

A todos os funcionários das empresas Germiplanta - Viveiros de plantas Lda. e Uziel Carvalho Lda. pela ajuda na recolha dos materiais e pela simpatia com que sempre me receberam, em especial à Liyana que me ajudou na recolha diária das temperaturas.

Aos meus pais, irmã e sobrinha pelo apoio e pela compreensão na ausência.

Por fim, ao meu marido Miguel, pela compreensão na impossibilidade de passear no nosso primeiro ano de casados.

Resumo

A turfa é utilizada intensivamente nos viveiros hortícolas, mas nos dias de hoje é fundamental considerar os aspectos ambientais e reduzir a sua exploração, para além de diminuir os custos dos viveiros com esta matéria-prima.

Com base nestas preocupações decidiu-se reutilizar os resíduos de um viveiro hortícola e de uma vacaria. Produziram-se quatro compostos, A, B, C e D, a partir de estrume de bovino seco, serradura fina, sobras de comida dos animais, cortes da rama de alho e cebola e desperdícios de turfa e plântulas hortícolas.

Com cada um dos compostos foram preparadas quatro proporções de composto/turfa de - 25% de composto e 75% de turfa, 50% de composto e 50% de turfa, 75% de composto e 25% de turfa e 100% de composto -, para avaliar a qualidade destes através de ensaios de germinação e crescimento de alface (*Lactuca sativa L.*)

Este estudo permitiu comprovar que é possível substituir 50% da turfa utilizada no viveiro, por composto formado a partir de resíduos existentes nas explorações onde este trabalho se realizou. Tal poderá, assim, reduzir o consumo e os custos da turfa para metade, com as vantagens de índole ambiental e também económica, subjacentes à realização do estudo ora apresentado.

Palavras-chave: Substituição da turfa em viveiros; Gestão de resíduos orgânicos; Compostagem; Composto; Ensaio de germinação e crescimento; Alface (*Lactuca sativa L.*).

Abstract

Peat is intensively used in horticultural nurseries. Yet nowadays is fundamental to consider the environmental aspects and reduce its exploration, besides the reduction of the costs of the nurseries with this input.

Based on these concerns it was decided to re-use the organic residues from a horticultural nursery and from a dairy farm. Four composts, A, B, C and D were produced from dry cattle manure, thin sawdust, animal food waste, pieces of garlic and onion raw and peat and horticultural plant waste.

For each final compost, four different proportions of compost/peat were prepared - 25% of compost and 75% of peat (25/75), 50% of compost and 50% of peat (50/50), 75% of compost and 25% of peat (75/25) and 100% of compost (100)- to assess its quality through germination and growing tests carried with lettuce (*Lactuca sativa* L.)

The results obtained suggested that it was possible to replace the 50% of peat used in the nursery, by the composts produced in the explorations with the residues, to reduce the amount of peat to the half, with both environmental and economical benefits.

Key-words: Peat replacement in nursery; Organic residues management; Composting; Compost; Germination and growing tests; Lettuce (*Lactuca sativa* L.).

Extended abstract

Peat is intensively used in horticultural nurseries. Yet, nowadays is fundamental to consider the environments aspects and reduce its exploration, besides the reduction of the costs of the nurseries with this input.

Based on these concerns it was decided to re-use the organic residues from a horticultural nursery and from a dairy farm. Four composts, A, B, C and D were produced from dry cattle manure, thin sawdust, animal food waste, pieces of garlic and onion raw and peat and horticultural plant waste.

Compost A was obtained with 24 kg of each referred residues. Compost B derived from the mixture of 28 kg of cattle manure, sawdust, peat and plants waste and 18 kg of garlic/onion raw and animal food wastes. To produce compost C, 32 kg of cattle manure, sawdust, peat and plants wastes and 12 kg of garlic/onion raw and animal food wastes were mixed. 40 kg of cattle manure, sawdust and peat and plants wastes were used to prepare compost D.

The composting process of the piles lasted for 108 days. Temperature was daily measured in order to control the need to revolve and water the pile. Several samples were collected in different stages of the process, which revealed that all the composts obtained had a higher pH and electric conductivity and higher levels of the majority of mineral elements, compared with peat. Peat showed higher values of organic matter, total carbon and C/N and C/P ratios.

Germination and growing tests are commonly used to evaluate compost maturation. Immature composts can cause phytotoxicity, reducing germination and plant growing.

For each final compost A, B, C and D, four different proportions of compost/peat - 25% of compost and 75% of peat (25/75), 50% of compost and 50% of peat (50/50), 75% of compost and 25% of peat (75/25) and 100% of compost (100) - were prepared to assess its quality through germination and growing tests carried with lettuce (*Lactuca sativa* L.). Peat was also included as a control.

Two hundred and ninety four plants were randomly grown in the nursery for five weeks, including one control, and four compost/peat proportions for each compost A, B, C and D.

Some plants germinated six days after sowing, for the mixtures 25/75 B, 25/75 D, 50/50 D and 75/25 D, and in the seventh day all mixtures showed germinated plants, suggesting the maturation of the composts.

When plants reached the ideal size for plantation, five weeks after sowing, twenty plants from each proportion of compost/peat as well as the control, were collected, weighed and analyzed. Plants from portions 75/25 and 100 of all composts were smaller and yellowish, as a result of high electric conductivity of growing media.

Plant dry matter accumulation from the proportions 50/50 A, 25/75 B, 50/50 B, 25/75 C, 50/50 C and 25/75 D and from peat was similar. On the contrary, higher levels of all composts led to plants of poor quality, not suitable for the market.

Producing healthy plants is an important goal in nurseries. To verify if the plants produced in the nursery, succeed after plantation, thirty six lettuce plants from the mixtures 25/75 and 50/50 from each compost were planted in a greenhouse. After nine weeks, the plants had already reached the size to be sold.

The results obtained in this study suggested that it was possible to replace 50% peat used in the nursery, by composts produced in the explorations with the residues, to reduce the amount of peat to the half, with both environmental and economical benefits.

Índice Geral

Índice de figuras.....	<i>vii</i>
Índice de quadros.....	<i>ix</i>
Lista de símbolos e abreviaturas utilizadas no texto.....	<i>xi</i>
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	2
2.1. Compostagem.....	6
2.1.1. Variáveis de acompanhamento.....	6
2.1.1.1. Temperatura.....	6
2.1.1.2. Humidade.....	8
2.1.1.3. Oxigénio.....	8
2.1.1.4. pH.....	10
2.1.1.5. Espaçamento entre partículas.....	11
2.1.2. Variáveis relacionadas com a natureza do substrato.....	12
2.1.2.1. Tamanho das partículas.....	12
2.1.2.2. Matéria orgânica.....	12
2.1.2.3. Nutrientes.....	13
2.1.2.4. Razões C/N e C/P.....	14
2.1.2.5. Condutividade eléctrica.....	15
2.2. A cultura da alface.....	15
3. Materiais e Métodos.....	16
3.1. Processo de compostagem e sua evolução.....	16
3.1.1. Métodos de análise.....	18
3.1.1.1. Parâmetros físicos e físico-químicos.....	18
3.1.1.2. Parâmetros químicos.....	19
3.2. Tratamento do composto, sementeira e plantação das alfaces....	21
3.2.1. Sementeira da alface e plantação de amores-perfeitos.....	21
3.2.2. Preparação das plântulas para análise.....	23
3.2.2.1. Métodos analíticos utilizados nas amostras de alface.....	23
3.2.3. Plantação das alfaces.....	24
4. Resultados e Discussão.....	25
4.1. Parâmetros físicos e físico-químicos dos materiais iniciais.....	25
4.2. Análises dos compostos obtidos.....	27
4.2.1. Parâmetros físicos e físico-químicos ao longo do processo de compostagem.....	27
4.2.1.1. Temperatura.....	27
4.2.1.2. Teor de Humidade.....	35
4.2.1.3. Matéria seca.....	36
4.2.1.4. pH.....	36
4.2.1.5. Condutividade eléctrica.....	37
4.2.1.6. Densidade.....	38
4.2.2. Parâmetros químicos ao longo do processo de compostagem.....	38
4.2.2.1. Azoto Total.....	38
4.2.2.2. Matéria Orgânica.....	39

4.2.2.3. Carbono Total.....	39
4.2.2.4. Razão C/N.....	40
4.2.2.5. Elementos minerais.....	40
4.2.2.6. Razão C/P.....	43
4.3. Valorização agronómica.....	44
4.3.1. Análises das proporções composto/turfa.....	44
4.3.1.1. Teor de humidade.....	44
4.3.1.2. pH.....	45
4.3.1.3. Condutividade eléctrica.....	45
4.3.1.4. Azoto Total.....	46
4.3.1.5. Matéria Orgânica.....	46
4.3.1.6. Carbono Total.....	47
4.3.1.7. Razão C/N.....	47
4.3.1.8. Elementos minerais.....	48
4.3.1.9. Razão C/P.....	50
4.3.2. Ensaio de Germinação.....	51
4.3.3. Ensaio de Crescimento.....	52
5. Conclusão.....	58
6. Bibliografia.....	60

Índice de Figuras

Figura 1 -	Aspecto geral do centro de compostagem.....	16
Figura 2 -	Pormenor de uma pilha onde decorria a medição da temperatura.....	17
Figura 3 -	Esquema dos pontos de leitura da temperatura na pilha.....	18
Figura 4 -	Aparelho medidor de pH.....	19
Figura 5 -	Aparelho de destilação do azoto total.....	19
Figura 6 -	Pormenor de um dos compostos depois de ser crivado.....	21
Figura 7 -	Plantação dos amores-perfeitos com a fracção de composto superior a 0,5 mm.....	22
Figura 8 -	Tabuleiro semeado.....	22
Figura 9 -	Aspecto das plantas à saída do viveiro.....	23
Figura 10 -	Secagem das plantas na estufa do Horto de Química Agrícola.....	23
Figura 11 -	Aspecto das alfaces à colheita.....	24
Figura 12 -	Temperaturas medidas durante a manhã na pilha A. As setas encarnadas indicam os dias em que a pilha foi revolvida. A numeração 1 a 9 representa os pontos de recolha da temperatura na pilha.....	28
Figura 13 -	Pormenor da massa branca na pilha A identificando a fase termófila.....	28
Figura 14 -	Temperaturas medidas durante a tarde na pilha A. As setas encarnadas indicam os dias em que a pilha foi revolvida. A numeração 1 a 9 representa os pontos de recolha da temperatura na pilha	29
Figura 15 -	Temperaturas medidas durante a manhã na pilha B. As setas encarnadas indicam os dias em que a pilha foi revolvida. A numeração 1 a 9 representa os pontos de recolha da temperatura na pilha	30
Figura 16 -	Temperaturas medidas durante a tarde na pilha B. As setas encarnadas indicam os dias em que a pilha foi revolvida. A numeração 1 a 9 representa os pontos de recolha da temperatura na pilha	31
Figura 17 -	Temperaturas medidas durante a manhã na pilha C. As setas encarnadas indicam os dias em que a pilha foi revolvida. A numeração 1 a 9 representa os pontos de recolha da temperatura na pilha	32
Figura 18 -	Temperaturas medidas durante a tarde na pilha C. As setas encarnadas indicam os dias em que a pilha foi revolvida. A numeração 1 a 9 representa os pontos de recolha da temperatura na pilha	32
Figura 19 -	Aspecto geral de uma pilha no final da compostagem.....	33
Figura 20 -	Temperaturas medidas durante a manhã na pilha D. As setas encarnadas indicam os dias em que a pilha foi revolvida. A numeração 1 a 9 representa os pontos de recolha da temperatura na pilha	33
Figura 21 -	Temperaturas medidas durante a tarde na pilha D. As setas encarnadas indicam os dias em que a pilha foi revolvida. A numeração 1 a 9 representa os pontos de recolha da temperatura na pilha	34
Figura 22 -	Gráfico representativo do peso seco da parte aérea das alfaces (mg/planta) recolhidas à saída do viveiro. Substrato 1- plantas desenvolvidas na mistura de composto A com turfa; Substrato 2- plantas desenvolvidas na mistura de composto B com turfa; Substrato 3- plantas desenvolvidas na mistura de composto C com turfa; Substrato 4- plantas desenvolvidas na mistura de composto D com turfa. As barras verticais representam o erro padrão ($P \leq 0,001$; $n=20$).....	53

Figura 23 - Gráfico representativo do peso seco da parte radicular das alfaces (mg/planta) recolhidas à saída do viveiro. Substrato 1- plantas desenvolvidas na mistura de composto A com turfa; Substrato 2- plantas desenvolvidas na mistura de composto B com turfa; Substrato 3- plantas desenvolvidas na mistura de composto C com turfa; Substrato 4- plantas desenvolvidas na mistura de composto D com turfa. As barras verticais representam o erro padrão ($P \leq 0,001$; $n=20$).....	54
Figura 24 - Comparação entre as plantas produzidas nas diferentes proporções do composto D e a turfa.....	56
Figura 25 - Imagem de um amor-perfeito desenvolvido na fracção superior a 0,5 mm dos compostos.....	57
Figura 26 - Imagem das alfaces após a colheita.....	57

Índice de Quadros

Quadro 1-	Peso dos materiais iniciais, em kg, que constituíram as quatro pilhas.....	17
Quadro 2-	Datas de colheita das amostras.....	18
Quadro 3-	Teores de humidade, matéria seca, pH e condutividade eléctrica dos materiais iniciais.....	25
Quadro 4-	Teores de matéria orgânica, carbono orgânico, razão C/N, azoto total, fósforo e razão C/P dos materiais iniciais.....	26
Quadro 5-	Teores de macroelementos (P, K, Ca e Mg) e de microelementos (Fe, Mn, Zn e Cu) nos materiais iniciais.....	27
Quadro 6-	Teores de humidade (%) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	36
Quadro 7-	Teores de matéria seca (%) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	36
Quadro 8-	Valores de pH nas diferentes datas de colheita de amostras.....	37
Quadro 9-	Valores de condutividade eléctrica (mS/cm) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	37
Quadro 10-	Valores da densidade (g/L) dos diferentes compostos e da turfa.....	38
Quadro 11-	Teores de azoto total (% na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	38
Quadro 12-	Teores de matéria orgânica (% na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	39
Quadro 13-	Teores de carbono total (% na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	39
Quadro 14-	Razão C/N nas diferentes datas de colheita de amostras.....	40
Quadro 15-	Teores de P (g/100g na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	40
Quadro 16-	Teores de K (g/100g na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	41
Quadro 17-	Teores de Ca (g/100g na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	41
Quadro 18-	Teores de Mg (g/100g na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	42
Quadro 19-	Teores de Fe (mg/kg na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	42
Quadro 20-	Teores de Mn (mg/kg na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	42
Quadro 21-	Teores de Zn (mg/kg na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	43
Quadro 22-	Teores de Cu (mg/kg na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras.....	43
Quadro 23-	Razão C/P nas diferentes datas de colheita de amostras.....	43
Quadro 24-	Teor de humidade (%) nas diferentes proporções composto/turfa.....	44
Quadro 25-	Valores de pH nas diferentes proporções composto/turfa.....	45
Quadro 26-	Valores de condutividade eléctrica (mS/cm) nas diferentes proporções composto/turfa...	45
Quadro 27-	Teores de azoto total (% na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa.....	46
Quadro 28-	Teores de matéria orgânica (% na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa.....	47
Quadro 29-	Teores de carbono total (% na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa.....	47
Quadro 30-	Razão C/N nas diferentes proporções composto/turfa.....	47
Quadro 31-	Teores de P (g/100g na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa.....	48
Quadro 32-	Teores de K (g/100g na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa	48
Quadro 33-	Teores de Ca (g/100g na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa	48
Quadro 34-	Teores de Mg (g/100g na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa.....	49
Quadro 35-	Teores de Fe (mg/kg na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa.....	49
Quadro 36-	Teores de Mn (mg/kg na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa.....	49
Quadro 37-	Teores de Zn (mg/kg na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa	50
Quadro 38-	Teores de Cu (mg/kg na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa	50
Quadro 39-	Razão C/P nas diferentes proporções composto/turfa.....	50

Quadro 40-	Número de plantas germinadas em cada tabuleiro nas diferentes misturas composto/turfa.....	51
Quadro 42-	Análises foliares de todas as proporções estudadas no ensaio de germinação e crescimento.....	55
Quadro 43-	Peso médio por alface, em gramas, nas diferentes proporções plantadas.....	56

Lista de símbolos e abreviaturas utilizadas no texto

Ago. – Agosto
A – Composto A
B – Composto B
C – Composto C
C. O. – Carbono Orgânico
C/N – Carbono/Azoto
C/P – Carbono/Fósforo
Ca – Cálcio
CO₂ – Dióxido de Carbono
Cu – Cobre
D – Composto D
Da – Densidade aparente
Dez. – Dezembro
Dr – Densidade real
ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais
Fe – Ferro
H – Humidade
HCl – Ácido clorídrico
K – Potássio
K₂O – Óxido de dipotássio
M. O. – Matéria Orgânica
m. s. – Matéria seca
Mg – Magnésio
Mn – Manganês
N – Azoto
Na – Sódio
NH₄⁺ - Ião amónio
NO₃⁻ – Ião nitrato
Nov. – Novembro
Out. – Outubro
P – Fósforo
P – Porosidade
P₂O₅ – Pentaóxido de difósforo
S – Enxofre
Set. – Setembro
Zn – Zinco

1. Introdução

Nos dias de hoje, quer por razões de ordem ecológica, quer económica, o aproveitamento de resíduos é fundamental. Dentro destes, os resíduos de natureza agro-pecuária exigem cada vez maior atenção nas regiões onde a produção agrícola e animal assumem relevância.

As empresas agrícolas nas quais este trabalho foi realizado são Germiplanta, Viveiros de Plantas Lda. e Uziel Carvalho Lda., uma exploração leiteira, situadas na Aroeira, freguesia de Monte Redondo, concelho de Leiria. Como em todas as explorações, a quantidade de resíduos existente é bastante elevada, podendo estes ser utilizados de diferentes formas. A sua aplicação no solo já é uma prática na exploração agrícola, evitando gastos superiores com adubações químicas, mas através da compostagem, pretende-se mostrar que é possível utilizar estes resíduos de forma a economizar os gastos com a turfa, utilizada nos viveiros.

A empresa Germiplanta é um viveiro de produção de plantas a laborar à 22 anos, sendo pioneira no ramo, e produz anualmente mais de 100 milhões de plantas em 4 ha de estufas, para todo o território Ibérico. Com 39 funcionários, dos quais 8 são técnicos agrícolas, os objectivos actuais da empresa consistem em melhorar a qualidade na produção, rentabilizar os recursos humanos e reduzir os custos fixos.

A empresa Uziel Carvalho Lda. é uma exploração agrícola com produção leiteira e com produção de forragem para alimentação animal. A laborar à 25 anos, a empresa produz mais de 2,2 milhões de litros de leite por ano, com um efectivo total de aproximadamente 400 animais. Explorando um total de 170 ha, dos quais 110 ha são regados por pivot, a exploração produz 5000 toneladas de silagem de milho e 2000 toneladas de silagem de azevém. Esta empresa conta com a colaboração de 13 funcionários, entre eles 2 técnicos agrícolas e 1 médico veterinário. Está em vigor um sistema de lagunagem que tem projectado o aproveitamento de metano sob a forma de energia eléctrica e térmica e já faz a reutilização das águas para lavagem dos parques e para rega.

Nas explorações em estudo a quantidade de resíduos é bastante elevada. Durante o ano de 2008 acumularam-se 4758 t de estrume, 109,8 t de desperdícios de comida dos animais, 347,7 t de serradura fina usada nas camas dos animais, 20,5 t de corte de alho/cebola e 71,3 t de plântulas com turfa (não vendidas).

Com quantidades tão elevadas de resíduos é fundamental realizar uma gestão adequada para que não existam problemas ambientais nem de saúde humana. Para isso, recorre-se à compostagem, sendo esta a melhor forma, segundo vários autores (Gajdos, 1997; Pinamonti *et al.*, 1997; Raviv *et al.*, 1998; Ribeiro *et al.*, 2000; Sullivan e Miller, 2001; Sánchez-Monedero *et al.*, 2004; Clark e Cavigelli, 2005; Mupondi *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007) de reciclar e valorizar os resíduos existentes nas explorações.

2. Revisão Bibliográfica

Nos Estados Unidos foi aprovada a utilização de turfa, assim como de misturas de fertilizantes orgânicos certificados, na produção em agricultura biológica. Ambas as opções são, contudo, normalmente caras e a sua sustentabilidade é questionável, dada a dependência da turfa, que é um recurso não renovável e o longo processo de obtenção de fertilizantes orgânicos. Uma possível solução será a utilização de composto proveniente de resíduos orgânicos locais, o qual pode servir como substrato de cultura parcial ou total e fonte de nutrientes.

Vários estudos demonstraram que o composto assim obtido pode ser usado com sucesso, parcialmente, e às vezes totalmente, em substituição da turfa. Contudo, em muitos desses estudos, a contribuição para o fornecimento de nutrientes não é uma prioridade porque o composto é considerado apenas como um substrato alternativo à turfa.

Clark e Cavigelli (2005) estudaram a possibilidade de utilizar dois compostos como meio de cultura para alface (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) e *tatsoi* (*Brassica rapa* var. *rosularis*). Um dos compostos foi produzido com resíduos de comida e folhas secas e o outro composto derivou de estrume de cavalo. Como testemunha, os autores utilizaram turfa comercial fertilizada e, para um estudo mais completo, misturaram ambos os compostos, numa proporção 50%/50%, com um substrato comercial derivado de casca de árvores, turfa e areia fina. Este substrato também foi utilizado com meio de cultura tendo, por isso, sido considerados seis tratamentos no total.

A germinação das culturas de alface e de *tatsoi* foi semelhante em todos os substratos, excepto naqueles derivados de estrume de cavalo nos quais a germinação foi muito baixa.

O crescimento de ambas as culturas no composto derivado de resíduos de comida foi estatisticamente similar à produção na turfa com adubação química. O desenvolvimento das culturas no composto derivado de estrume de cavalo usado a 100% ou numa mistura de 50%/50% com turfa comercial não obteve qualidade suficiente para a comercialização.

Com este estudo Clark e Cavigelli (2005) concluíram que embora o composto derivado de resíduos alimentares tivesse um comportamento idêntico ao da turfa comercializada, era significativamente mais caro. A mistura deste composto com substrato, para reduzir os gastos, não se apresentou viável devido a uma mineralização mais lenta e a um pior crescimento das culturas. Concluíram, por isso, que a redução dos custos de produção terá de passar por uma mecanização das operações a efectuar na compostagem.

A presença de nutrientes disponíveis num composto, principalmente azoto, é importante para o desenvolvimento das plantas, mas a sua maturidade e/ou estabilidade, salinidade, pH, tamanho das partículas e capacidade de retenção de água assumem também particular relevância.

Assim, os compostos foram avaliados e comparados através de análises químicas, de ensaios de germinação e de desenvolvimento de plantas, tendo sido verificado que mesmo quando os dois compostos tinham teores de azoto total, razão C/N e densidades similares, o seu comportamento como meio de cultura era muito diferente. Com efeito, a razão C/N é normalmente usada como indicador da mineralização potencial do N do composto e de outros materiais, mas essa mineralização tem significado para materiais com razão $C/N \leq 20$ e é negligenciável para materiais com razão ≥ 30 .

Sullivan e Miller (2001) observaram num composto derivado de resíduos alimentares, que a mineralização do azoto foi elevada, ao contrário do que se verificou num composto obtido de estrume de cavalo no qual ocorreu a imobilização do azoto, talvez devido à elevada salinidade.

Vários estudos têm sido conduzidos com o objectivo de valorizar agrónomica e energeticamente diferentes resíduos orgânicos e produzir plantas em substratos sem solo. A compostagem é um dos métodos considerados mais atractivos para o tratamento dos resíduos orgânicos, visto favorecer a sua reutilização, num produto final, o composto, que pode ser utilizado, não só como meio de cultura, mas também como fertilizante, melhorador da estrutura de solos, cobertura de aterro ou até em paisagismo quando o objectivo é, por exemplo, a recuperação ambiental de solos degradados (Raviv, 1998).

Os compostos podem ter propriedades físicas, físico-químicas e químicas semelhantes às da turfa, o que os torna possíveis substitutos desta. O uso de composto em meios de cultura sem solo tem sido difundido em algumas áreas, tais como comercialização de plantas hortícolas, produção de plantas ornamentais e viveiros florestais (Pinamonti *et al.*, 1997) e, mais recentemente, na produção em viveiros hortícolas (Raviv *et al.*, 1998).

Para o uso na horticultura, os compostos podem ter as suas limitações, não só devido à presença de poluentes orgânicos ou minerais, mas também pelo excesso de sais ou nutrientes que conduzem a um substrato com elevada condutividade eléctrica (Ribeiro *et al.*, 2000). Uma elevada concentração de sais no meio de cultura pode representar um importante factor limitante, especialmente na produção de viveiros, uma vez que as plantas são mais sensíveis nas fases de crescimento iniciais.

Podem ser produzidas plantas saudáveis e com um tamanho favorável ao transplante, recorrendo a compostos produzidos com diferentes materiais. Substratos para sementeira preparados com composto e com mistura com turfa, numa proporção acima dos

67% de volume, mostraram benefícios na germinação das sementes e no crescimento das plantas de brócolo (*Brassica oleracea*), tomate (*Lycopersicum esculentum*) e cebola (*Allium cepa*) (Sánchez-Monedero *et al.*, 2004). Logo, estes compostos podem ser substitutos da turfa como meio de cultura.

A decisão de se usar um composto como substituto de turfa vai depender, em primeiro lugar, de um preço competitivo de um produto com qualidade consistente e, em segundo lugar, da consciência dos viveiristas relativamente aos problemas ambientais que podem ser causados pela exploração super-intensiva das turfeiras e pela acumulação de resíduos de origem diversa que podem ser reaproveitados.

Gajdos (1997) usou a alface, o agrião (*Lepidium sativum*), o azevém (*Lolium perenne*), o rabanete (*Raphanus sativus*) e uma planta ornamental (*Tagetes tenuifolia*), para estudar o efeito do composto em meios de cultura. Para este estudo o autor utilizou um composto derivado de resíduos sólidos urbanos, misturado com turfa nas seguintes percentagens, 10, 20, 30 e 40. Na avaliação da germinação e emergência, foram verificadas claras diferenças em relação às variações de qualidade e quantidade de composto utilizado na mistura com a turfa como meio de cultura, com as sementes das culturas em estudo. O atraso na germinação e emergência foi mais óbvio quando o meio de cultura tinha maior quantidade de composto. Isto pode ter acontecido devido à elevada condutividade na mistura turfa – composto, quando aumentava a quantidade de composto.

Os produtores precisam de um meio de cultura certificado para cumprir as necessidades das culturas cultivadas. Distúrbios na germinação devido à qualidade insatisfatória do meio de cultura podem resultar no prolongamento do tempo de cultura, o que significa colheita tardia e rendimentos mais baixos para o produtor. Estes atrasos nos estágios iniciais da cultura podem ter as mesmas consequências económicas, num meio de cultura com uma mistura de turfa e composto, o qual, tem assim, de ser ajustado às necessidades das culturas.

Um composto pode fornecer a maioria dos nutrientes necessários à cultura e, sendo assim, será necessário adicionar apenas uma pequena parte de nutrientes para satisfazer as necessidades das plantas nos diferentes estádios de crescimento. Para além disso, a adição de matéria orgânica aumenta a resposta da cultura aos adubos químicos, a eficiência dos nutrientes, o rendimento das culturas e previne a perda de nutrientes do solo.

Conhecendo as necessidades das culturas para a produção óptima, pode-se afirmar que o melhor meio de cultura é a turfa. Mas este recurso é limitado e não renovável, devendo por isso, a matéria orgânica dos resíduos ser utilizada. Segundo Bugbee (1994), que compostou lamas de tratamento de resíduos de café, resíduos sólidos urbanos e águas residuais, o composto tem mostrado ser uma alternativa aos meios de cultura tradicionais e

caros. Assim, os métodos de compostagem têm de se focar na obtenção de um composto de qualidade e na sua higienização, assim como nos efeitos positivos do composto nas características do meio de cultura.

Raviv (1998) referiu que as vantagens da turfa são as suas propriedades físicas que permitem uma razão ar/água na zona das raízes adequada e uma elevada capacidade de troca catiónica que facilita a manutenção dos nutrientes no nível necessário para o crescimento das plantas. Contudo, a turfa conduz ao desenvolvimento de patogénios, como o *Pythium*, *Fusarium* e *Rhizoctonia*, nomeadamente. Outra desvantagem é o seu custo, principalmente para países, como Portugal, que não têm locais de extracção de turfa.

Um composto de elevada qualidade é geralmente usado para sementeiras de hortícolas e ornamentais. Este é um mercado potencial para o composto derivado de resíduos apenas orgânicos, para usar como alternativa à turfa, ao contrário dos resíduos sólidos urbanos que podem ter componentes indesejáveis. Através da utilização de composto, será possível reduzir a extracção de turfa e promover a venda de novos meios de cultura baseados em composto. Vários estudos comprovaram que o composto resultante de resíduos orgânicos pode substituir a turfa nas sementeiras em 25-50% do seu volume (Verdonck e Penninck, 1985; Bugbee, 1996; Chong e Cline, 1996; Kostov *et al.*, 1996). O pH, a condutividade eléctrica e as propriedades físicas deste tipo de composto estão ajustados a misturas destes com a turfa loira. Para além disso, o composto promove um bom controlo biológico das doenças das plantas.

Mupondi *et al.* (2006) avaliaram a possibilidade de usar composto obtido de casca de pinheiro e estrume de cabra ou lamas de ETAR secas, com ou sem inoculação de microrganismos, como meio de cultura de couve (*Brassica oleracea* L.).

O composto derivado de casca de pinheiro e estrume de cabra revelou-se um melhor meio de cultura para a couve do que o composto obtido apenas com casca de pinheiro. Para pequenos produtores, o composto de casca de pinheiro e estrume de cabra, pode ser uma boa alternativa aos fertilizantes, uma vez que estes têm custos muito elevados. Mesmo assim, para uma sementeira adequada, especialmente quando o desenvolvimento das plantas é muito demorado, pode ser considerada a necessidade de adicionar nutrientes. O composto originado de lamas de ETAR secas pode também conduzir a melhores resultados do que um composto apenas de casca de pinheiro, mas a sua composição pode conter metais pesados e por isso torna-se inadequado para sementeira de hortícolas, podendo ser, no entanto, utilizado em viveiros florestais.

2.1. Compostagem

A compostagem é uma forma prática e ao alcance de todos, de fazer um aproveitamento rentável de resíduos biodegradáveis.

Consiste na decomposição aeróbia de sólidos orgânicos, com conversão de materiais putrescíveis num produto final, o composto, estabilizado pela acção microbiana. Quando é bem controlado, o processo da compostagem reduz a humidade, o peso, o volume dos resíduos e conduz a um produto estabilizado, armazenável e utilizável em solos agrícolas ou de outro tipo. Ao ser aplicável no solo, o composto pode melhorar a infiltração e retenção de água, diminuir as variações de temperatura, reduzir a erosão, melhorar a sanidade das culturas, ao favorecer um controlo natural das pragas, e fornecer nutrientes para o crescimento das plantas (Torrentó *et al.*, 2008).

Para obtenção de um composto com boas características, é necessário controlar algumas variáveis que se podem distinguir entre variáveis de acompanhamento, que se podem medir e adequar ao longo do processo (Jeris *et al.*, 1973), e variáveis relativas à natureza do substrato, que se podem medir e adequar a valores correctos no início do processo (Madejón *et al.*, 2001). As variáveis de acompanhamento são a temperatura, a humidade, o pH, o oxigénio e o espaçamento entre partículas. Entre as variáveis relacionadas com a natureza do substrato encontra-se a dimensão das partículas, as relações C/N e C/P, os teores de nutrientes, a matéria orgânica e a condutividade eléctrica. Os intervalos de valores óptimos para os parâmetros referidos estão directamente relacionados com as condições ambientais, com o tipo de resíduo a tratar e com o sistema de compostagem escolhido (Márquez *et al.*, 2008).

2.1.1. Variáveis de acompanhamento

2.1.1.1. Temperatura

Assim que se dispõem os materiais para serem compostados, começa a actividade microbiana. Inicialmente, a temperatura é igual em todo o material, mas à medida que os microrganismos vão desenvolvendo a sua actividade, a temperatura vai aumentando, sendo esta uma variável fundamental para o controlo da compostagem, pois pequenas variações da temperatura têm maior influência na actividade microbiana do que pequenas variações da humidade, pH ou relação C/N (Liang *et al.*, 2003; Miyatake *et al.*, 2006).

Pela evolução da temperatura pode avaliar-se o grau de estabilização a que o processo chegou, já que existe uma relação directa entre a temperatura atingida e a degradação da matéria orgânica. Mais concretamente, existe uma relação directa entre a degradação e o tempo a que se constatou uma temperatura elevada. Esta pode ser tão elevada que inibe o crescimento dos próprios microrganismos, conhecendo-se este fenómeno como *suicídio microbiano* (Márquez *et al.*, 2008).

Num processo de decomposição aeróbia observam-se três fases, a fase mesófila inicial com temperaturas inferiores a 45°C, no final da qual se produzem ácidos orgânicos; a fase termófila com temperaturas superiores a 45°C; e a fase mesófila final, considerando-se finalizado o processo quando se alcançar novamente a temperatura inicial (Márquez *et al.*, 2008). Durante as três fases referidas estão em actividade microrganismos diferentes, dependendo da temperatura do material em decomposição. Os organismos psicrofílos digerem a matéria orgânica a temperaturas próximas dos 12°C. Também produzem calor, o que favorece o aparecimento de organismos mesófilos que actuam num intervalo de temperaturas entre 21°C e 32°C. Estes microrganismos decompõem a matéria orgânica, mas não eliminam doenças nem evitam a germinação de infestantes. Para isso, é necessário atingir temperaturas entre 37°C e 71°C, que proporcionam a actividade dos organismos termófilos, durante 3 a 5 dias (Campbell, 2005).

O incremento da actividade biológica gera calor que é retido, provocando um aumento da temperatura. É necessário otimizar a fase termófila para maximizar a higienização, prevenindo o crescimento e disseminação de patogénios durante a compostagem, destruindo os que estejam presentes no início do processo e produzir um produto final dificilmente colonizável pelos mesmos. Por sua vez, deve-se evitar a auto-limitação microbiana por elevação excessiva da temperatura. Por esta razão, o arejamento, para além de fornecer oxigénio, tem outra função importante, que é dissipar a energia calorífica através do calor latente de vaporização de água. É, assim, necessário um maior volume de ar para manter a temperatura dentro dos níveis aconselhados, do que para manter o nível de oxigénio necessário para um processo aeróbio (Haug, 1993).

Na fase final da compostagem dá-se a maturação, na qual já não ocorrem temperaturas muito elevadas, até se atingir a temperatura ambiente. Esta fase coincide, em parte, com a fase mesófila final.

2.1.1.2. Humidade

A presença de água no processo de decomposição da matéria orgânica é imprescindível, devido às necessidades fisiológicas dos microrganismos, já que é o meio de transporte das substâncias solúveis que servem de alimento às células e é necessária para a difusão dos resíduos metabólicos (Hoitink *et al.*, 1995). A humidade dos materiais a compostar é considerada por alguns autores (Haug, 1993; Madejón *et al.*, 2002; Jeris *et al.*, 1973) a variável mais importante na compostagem e foi classificada como um critério fundamental para a optimização da mesma.

A importância de um teor de humidade apropriado foi demonstrada por Shulze (1962), que estudou a variação da quantidade de oxigénio consumida por uma massa inicial durante a compostagem, num reactor fechado a uma temperatura constante, em função da humidade. Observou que pequenas variações de humidade provocavam grandes variações de temperatura.

A humidade existente na pilha deve ser tal, que a água não chegue a ocupar totalmente os poros entre as partículas, para que permita a circulação tanto de oxigénio como de outros gases produzidos na reacção (Miyatake *et al.*, 2006).

Os organismos microbianos têm o seu maior crescimento com teores de humidade entre 50% e 70%. A actividade biológica decresce muito quando a humidade está abaixo dos 30% e, acima dos 70%, a água ocupa o espaço do ar entre as partículas, reduzindo a transferência de oxigénio, promovendo-se um processo anaeróbio. Quando as condições se tornam anaeróbias, originam-se maus odores e diminui-se a velocidade do processo (Márquez *et al.*, 2008).

O excesso de humidade pode ser reduzido aumentando o arejamento (Haug, 1993). Fazendo um bom controlo da humidade através do arejamento, pode-se controlar a temperatura. Isto deve-se ao facto de, durante o processo de compostagem, ser fundamental o equilíbrio entre o ar e a água no espaço entre partículas.

2.1.1.3. Oxigénio

Wang *et al.* (2007) conduziram um estudo sobre a importância do oxigénio no processo da compostagem e maturação. Para isso, misturaram estrume de bovinos, estrume de galinha e palha de trigo seca, numa proporção de 1:3:6. Construíram duas pilhas com 1,1 m de altura, 1,5 m de largura e 2,5 m de comprimento e utilizaram duas técnicas para adicionar oxigénio às pilhas de compostagem. Uma pilha tinha tratamento microaeróbio e o revolvimento era manual quando a temperatura atingia os 50 °C. A frequência do

revolvimento era de dois em dois dias durante a fase termófila e uma vez em cada cinco dias, quando a temperatura baixasse aos 35 °C. A outra pilha tinha um tratamento aeróbio em que a adição de oxigénio era feita de forma forçada, através de um tubo que levava ar até uma caixa com orifícios, que se encontrava incorporada 20 cm acima da base da pilha. A adição de ar na pilha era feita de três em três horas, durante 30 minutos, ao longo dos 60 dias que durou o estudo.

A temperatura ambiente e das pilhas foi medida todos os dias, sendo que a temperatura das pilhas era medida a 0,20, 0,45 e 0,60 a 0,70 m de profundidade (dependendo da alteração do volume durante o processo).

No composto sujeito ao método microaeróbio, a fase termófila acima dos 50 °C teve uma durabilidade de 23 dias, seguida de um decréscimo acentuado da temperatura. A mesma fase em condições de tratamento aeróbio teve uma durabilidade de apenas 15 dias, seguida de um decréscimo lento da temperatura.

Foram recolhidas amostras de 50 cm³ de composto nos dias 0, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 45 e 60, à mesma profundidade a que se mediam as temperaturas. As amostras foram homogeneizadas e, parte delas foi conservada a -20 °C e outra parte foi seca ao ar.

Os teores de nitratos e a razão C/N foram utilizados para avaliar a maturidade do composto em estudo, sendo que se verificaram 35 dias para um período de maturação para o tratamento microaeróbio, comparativamente a 45-50 dias para o tratamento aeróbio. A decomposição da lenhina e celulose foi promovida nas condições microaeróbias e por isso o período de maturação foi mais curto. O facto do custo do processo microaeróbio ter sido menor do que o do processo aeróbio, foi também muito importante para concluir que o processo mais simples era o mais viável.

O principal objectivo de arejar o material em compostagem é fornecer oxigénio para a biodegradação aeróbia assim como remover excesso de vapor de água, calor e gases (Wang *et al.*, 2007).

O nível de oxigénio tem uma grande importância, na forma como o processo decorre, podendo ser administrado por difusão passiva ou por convexão favorecida pelas diferentes temperaturas induzidas pela actividade microbiana ou por alguma acção mecânica. Mesmo que se consiga uma mistura inicial com uma estrutura que beneficie o auto-arejamento, o revolvimento da pilha de composto não se deve eliminar, pois favorece a decomposição através da redução do tamanho das partículas, homogeneiza o material e redistribui os microrganismos, a humidade e os nutrientes, uma vez que expõe novas superfícies ao ataque microbiano (Torrentó *et al.*, 2008).

Para o correcto desenvolvimento da compostagem é necessário assegurar a presença de oxigénio, já que os organismos que intervêm são aeróbios. As pilhas de

compostagem apresentam percentagens variáveis de oxigénio no ar existente nos espaços livres. A parte mais exterior contém quase tanto oxigénio como o ar exterior (18-20%), mas caminhando para o interior, a quantidade de oxigénio vai diminuindo até ao ponto da percentagem de oxigénio estar entre 0,5 e 2%, a 60 cm de profundidade (Ekinci *et al.*, 2004) e, em contra-partida, os valores de dióxido de carbono vão aumentando.

Na ausência de oxigénio os microrganismos anaeróbios assumem o controlo e o processo retarda-se cerca de 90%, para além de provocar maus odores (Bidlemaier, 1996). Os organismos aeróbios fazem uma decomposição mais completa do que os anaeróbios porque decompõem os compostos de carbono em dióxido de carbono e água, imediatamente disponibilizados às plantas, e produzem energia, que eles próprios utilizam para se desenvolverem mais rapidamente (Campbell, 2005).

O excesso de arejamento pode, contudo, provocar o arrefecimento da pilha e uma perda elevada de humidade, o que reduz a actividade metabólica dos microrganismos (Zhu, 2006).

O nível de oxigénio é, assim, uma variável muito importante e a que implica maiores gastos na operação, já que representa 32-46% dos custos totais. Medir a concentração de oxigénio requer equipamentos muito caros, mas é possível controlar-se indirectamente, medindo a temperatura e a humidade (Kulcu *et al.*, 2004).

Contudo durante o processo de maturação não se deve adicionar oxigénio, já que um excessivo arejamento poderá dar lugar a um consumo dos compostos húmicos formados e a uma rápida mineralização dos mesmos (Tomati *et al.*, 2000).

2.1.1.4. pH

O pH tem uma influência directa na compostagem devido à sua acção sobre a dinâmica dos processos microbianos. Esta variável é usada para estudar a evolução da compostagem, pois mediante o seguimento do pH pode-se obter uma medida indirecta do controlo do arejamento da mistura, uma vez que quando se criam condições de anaerobiose, se libertam ácidos orgânicos que provocam a descida do pH (Sundberg *et al.*, 2004).

Segundo alguns autores, a evolução do pH durante a compostagem apresenta três fases. Durante a fase mesófila inicial observa-se uma diminuição do pH, devido à acção dos microrganismos sobre a matéria orgânica mais facilmente degradável, conduzindo a uma libertação de ácidos orgânicos. Esta redução do pH pode ser mais acentuada se existirem condições anaeróbias, pois a formação de ácidos orgânicos será maior. Numa segunda fase, ocorre uma progressiva alcalinização do meio, devido à perda dos ácidos orgânicos e

à formação de amoníaco proveniente da decomposição das proteínas (Sánchez-Monedero *et al.*, 2001). Por fim, na terceira fase, o pH tende para a neutralidade devido à formação de compostos húmicos que têm propriedades tampão.

Suler *et al.* (1977) estabeleceram uma relação entre as alterações de pH e o arejamento da mistura, concluindo que uma compostagem com arejamento adequado conduz a produtos finais com um pH entre 7 e 8. Valores mais baixos de pH são indicativos de fenómenos anaeróbios e de que o material ainda não está maduro. Os autores estudaram também as relações entre o pH, o arejamento e os microrganismos existentes no processo e deduziram que a degradação orgânica é inibida a pH baixos pelo que, se o pH se mantém acima de 7,5 durante o processo, este facto é sintoma de uma boa decomposição.

2.1.1.5. Espaçamento entre partículas

Shulze (1962) utilizou pela primeira vez o conceito de Espaço de Ar Livre (*Free Air Space, FAS*), adoptado da ciência do solo, que relaciona a humidade (H), a densidade aparente (Da), a densidade real (Dr) e a porosidade (P), ou seja, que tem em conta a estrutura física dos resíduos. O *FAS*, calculado pela equação abaixo apresentada, indica as quantidades relativas de água e ar existentes na matéria em compostagem.

$$FAS = 100 \left(1 - \frac{Da}{Dr} \right) \left(1 - \frac{H}{100} \right)$$

O *FAS*, P e H apresentam-se em % e Dr e Da em g/cm^3 .

Jeris e Regan (1973) estudando diferentes resíduos, estabeleceram que o processo de compostagem ocorria com maior rapidez (maior consumo de oxigénio), quando o valor de *FAS* se situava entre 30-35%, independentemente da natureza do resíduo.

Por isso, conhecendo os valores de Da e Dr , pode-se encontrar a humidade óptima para o resíduo estudado. A densidade real é uma constante para cada produto (Márquez *et al.*, 2008). Por outro lado, numa pilha de compostagem, a Da pode aumentar ou diminuir dependendo do grau de humidade da mistura. Quando a humidade é elevada, diminui o *FAS* e o produto compacta-se. Pelo contrário, quando a humidade é baixa, os espaços intersticiais estão ocupados por ar e a densidade aparente aumenta.

2.1.2. Variáveis relacionadas com a natureza do substrato

2.1.2.1. Tamanho das partículas

Para uma optimização do processo de compostagem é fundamental ter em conta o tamanho inicial das partículas, uma vez que quanto maior for a superfície exposta à acção microbiana, mais rápida e completa será a reacção. Por isso, o esmiuçamento do material inicial facilita o ataque dos microrganismos e aumenta a velocidade do processo.

Haug (1993) observou que o esmiuçamento de resíduos agro-industriais duplicou a eficiência do processo de compostagem. Por outro lado, um produto muito fino não é aconselhável por risco de compactação. Com efeito, ao mesmo tempo que uma partícula de pequena dimensão aumenta a superfície de contacto com os microrganismos, também reduz o espaçamento entre partículas e aumenta as forças de fricção, limitando a difusão do oxigénio para o interior da pilha e do dióxido de carbono para o exterior da mesma. Tal pode restringir a proliferação microbiana, podendo dar lugar a um colapso microbiano por ser impossível o arejamento por convexão natural.

As dimensões consideradas óptimas para as partículas dos resíduos a compostar são distintas segundo os critérios dos diferentes autores, variando entre 1 e 5 cm (Haug, 1993), entre 2 e 5 cm (Kiehl, 1985) ou entre 2,5 e 2,7 cm (Tchobanogolus *et al.*, 1994).

Wang *et al.* (2007) estudaram a importância do oxigénio no processo da compostagem e maturação, misturando estrume de bovinos, estrume de galinha e palha de trigo seca, numa proporção de 1:3:6, cortando a palha de trigo seca com 5 cm de comprimento, proporcionando um melhor arejamento devido às dimensões deste material inicial.

2.1.2.2. Matéria orgânica

Durante a compostagem, a matéria orgânica tende a diminuir devido à sua mineralização e à consequente perda de carbono sob a forma de dióxido de carbono. Estas perdas podem representar 20% de peso de massa compostada (Zucconi *et al.*, 1987). Este decréscimo ocorre fundamentalmente em duas etapas. A primeira, quando há um rápido decréscimo dos hidrocarbonetos, transformando-se as cadeias carbonatadas longas em cadeias mais curtas, com a produção de compostos simples que se podem reagrupar para formar moléculas complexas, dando lugar a compostos húmicos. Na segunda etapa, uma vez consumidos os compostos lábeis, outros materiais mais resistentes vão-se degradando

lentamente e/ou transformando em compostos húmicos (Tomati *et al.*, 2000; Castaldi *et al.*, 2005). Alguns dos componentes derivados da matéria orgânica são utilizados por microrganismos para formar os seus tecidos e outros são transformados em dióxido de carbono e água. A velocidade de transformação da matéria orgânica depende da sua natureza física e química, dos organismos que intervêm e das condições físico-químicas do processo.

Segundo Gajdos (1992), aumentar o nível de matéria orgânica nos solos agrícolas é importante para os proteger da erosão do vento e da água e para prevenir a perda de nutrientes por lixiviação. Os benefícios da matéria orgânica nas propriedades físicas do solo (estrutura, estabilidade dos agregados, infiltração da água, capacidade de retenção da água, presença de oxigénio e permeabilidade, agregados do solo e aumento da profundidade das raízes e diminuição da densidade volúmica), químicas (razão C/N, capacidade de retenção dos nutrientes, capacidade de troca catiónica e pH) e biológicas (actividade microbiana e enzimática e controlo biológico de patógenos) são largamente conhecidos.

2.1.2.3. Nutrientes

A viabilidade agronómica dos resíduos com possibilidade de serem compostados é função da disponibilidade dos elementos nutritivos que possuem. Entre os elementos que compõem o substrato destacam-se o C, o N e o P, que são macronutrientes fundamentais para o desenvolvimento microbiano.

O carbono é necessário na síntese celular para a formação do protoplasma, assim como a dos lípidos, gorduras e hidratos de carbono. O C oxida-se durante o metabolismo para produzir energia e dióxido de carbono, sendo o elemento que deve estar presente em maior quantidade, visto constituir 50% das células dos microrganismos e 25% do CO₂ libertado na respiração.

O azoto é um elemento essencial para a reprodução celular devido à natureza proteica do protoplasma. Está demonstrado que a qualidade de um composto como fertilizante está directamente relacionada com o seu teor em azoto.

O fósforo desempenha um papel fundamental na formação de compostos celulares ricos em energia, sendo necessário para o metabolismo microbiano.

Os nutrientes que existem em menor quantidades são os micronutrientes, que têm um importante papel na síntese das enzimas, no metabolismo dos microrganismos e nos mecanismos de transporte intra e extracelular (Miyatake *et al.*, 2006).

2.1.2.4. Razões C/N e C/P

A razão C/N do material inicial deve ser adequada para que ocorra uma correcta compostagem, em que a maior parte do C e do N seja aproveitada e retida no composto. Geralmente, os microrganismos utilizam 30 partes de C por cada parte de N. Por este motivo, considera-se que a razão de C/N óptima para a compostagem é de 25-35 (Jhorar *et al.*, 1991).

Se a razão C/N for maior do que 40, a actividade biológica diminui e os microrganismos devem oxidar o excesso de carbono, provocando lentidão no processo, devido à deficiente disponibilidade de N para a síntese proteica dos microrganismos (Márquez *et al.*, 2008).

A razão C/N ideal para um composto totalmente maturo é cerca de 10, similar à do húmus. Na prática, pode-se considerar que um composto é suficientemente estável ou maturo quando $C/N < 20$, sendo que esta é uma condição necessária, mas não suficiente. Se os materiais iniciais tiverem uma razão C/N baixa (inferior a 18-19), a compostagem desenvolve-se com maior rapidez (Golueke *et al.*, 1987; Zhu, 2006), mas o azoto em excesso liberta-se sob a forma de amoníaco, produzindo-se uma auto-regulação da razão C/N (Jhorar *et al.*, 1991). Estas perdas não afectam negativamente a compostagem, mas diminuem a qualidade do composto uma vez que o N é um nutriente fundamental para as culturas, e tornam-se um problema ambiental (Hedegaard *et al.*, 1996), já que o amoníaco é um gás considerado favorecedor do efeito estufa. A razão C/N de um composto está muito dependente da riqueza inicial de N. Por isso, o mais indicado para estudar a maturidade do composto é seguir a evolução da razão C/N durante o processo ou calcular a diferença entre os valores iniciais e finais, tendo em conta que esta razão decresce durante o processo.

Depois do C e do N, o P é o elemento mais importante do processo de compostagem, devendo por isso também estar presente nas quantidades necessárias. Uma boa razão entre os principais nutrientes promove uma adequada proliferação microbiana, sendo que todos estes nutrientes devem estar em quantidades óptimas e na forma mais disponível para a síntese microbiana. A razão C/P óptima para a compostagem encontra-se no intervalo 75-150, enquanto a razão N/P deve estar entre 5 e 20 (Márquez *et al.*, 2008).

2.1.2.5. Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica de um composto está relacionada com a natureza e composição do material de partida, fundamentalmente pela sua concentração de sais e, com menor importância, pela presença de iões amónio ou nitrato formados durante o processo (Sánchez-Monedero *et al.*, 2001).

A condutividade eléctrica tende geralmente a aumentar durante o processo de compostagem, devido à mineralização da matéria orgânica, que produz um aumento da concentração de nutrientes. Pode no entanto ocorrer um decréscimo da condutividade eléctrica durante o processo, devido à lixiviação de sais da massa, provocada por humidade excessiva da mesma.

Ao adicionar um composto ao solo, tem de se ter em conta a sua condutividade eléctrica, pois um excesso de salinidade na solução do solo dificulta a absorção de água pelas raízes das plantas e, por sua vez, dos nutrientes.

É importante ter em conta todos os aspectos mencionados para a eficiência do processo e evitar as consequências indesejáveis de um tratamento mal gerido.

2.2. A cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família Compositae e é originária da região do Mediterrâneo. Esta hortaliza é mundialmente conhecida e é consumida sob a forma de saladas.

Em 350 g, aproximadamente o peso de uma planta de alface, estão contidos 56 kCal, 95,80% de água, 2,3% de hidratos de carbono, 1,20% de proteínas, 0,20% de gorduras, 0,50% de sais minerais (13,3 mg de potássio, 147 mg de fósforo, 133 mg de cálcio e 3,85 mg de sódio, magnésio e ferro). A alface contém ainda, vitamina A, B₁, B₂ e C e as folhas de coloração verde-escura, principalmente as externas, contêm 30 vezes mais vitamina A do que as internas.

A alface é uma cultura de rápida germinação e o seu período vegetativo é bastante curto sendo, por isso é uma cultura apropriada para utilizar em ensaios biológicos, que devem ser simples, reprodutíveis e rápidos (Jiménez *et al.*, 2008). Nos ensaios realizados com composto como meio de cultura, foram vários os autores que referiram a alface como uma boa cultura para efectuar ensaios de germinação e crescimento (Raviv *et al.*, 1998; Gajdos *et al.*, 1997; Jiménez *et al.*, 2008).

3. Materiais e Métodos

Como foi referido na introdução, este trabalho teve como principal objectivo estudar a possibilidade de substituir a turfa utilizada na produção de viveiros de plantas hortícolas, por um composto produzido através do aproveitamento dos resíduos das explorações agro-pecuárias. Para isso foi necessário construir um pequeno centro de compostagem, completamente impermeável e coberto, para evitar perdas de nutrientes ou mesmo mistura de outros materiais indesejáveis.

Uma vez obtido o composto, foi necessário proceder às análises das amostras recolhidas, que permitiram estudar a qualidade e evolução dos compostos. Estas análises foram realizadas no Laboratório 9 do Departamento de Química Agrícola e Ambiental do Instituto Superior de Agronomia.

3.1. Processo de compostagem e sua evolução



Figura 1 - Aspecto geral do centro de compostagem

A construção do centro de compostagem foi feita no dia 3 de Agosto de 2008, utilizando paletes de madeira revestidas com plástico transparente usado nas estufas. Este centro estava dividido em quatro compartimentos, uma vez que foram produzidos também quatro compostos, tendo sido o chão do centro de compostagem coberto de plástico bastante resistente para não ocorrerem perdas de nutrientes ou contaminações (Figura 1)

Neste mesmo dia, foram disponibilizados reservatórios de 1000 L para recolher separadamente os diferentes resíduos utilizados na formação das pilhas, que foram estrume de bovino seco, sobras de comida dos bovinos, cortes da rama de alho e cebola, turfa e plântulas hortícolas desperdiçadas e serradura fina utilizada nas camas dos bovinos, cujas quantidades estão representadas no Quadro 1.

No dia 19 de Agosto procedeu-se à formação das pilhas, com o auxílio de uma balança para maior rigor. Os materiais utilizados foram misturados na pá de uma máquina, após trituração dos de maior dimensão.

Quadro 1 – Peso dos materiais iniciais, em kg, que constituíram as quatro pilhas

	Estrume	Serradura	Desperdícios de turfa e plantas	Cortes de alho/cebola	Sobras de comida dos bovinos
Pilha A	24	24	24	24	24
Pilha B	28	28	28	18	18
Pilha C	32	32	32	12	12
Pilha D	40	40	40	0	0

As pilhas foram colocadas nos respectivos compartimentos e inicialmente tinham um formato rectangular com 2,30 m de comprimento, 0,30 m de altura e 0,60 m de largura.

Ao longo do tempo, e tendo em conta a evolução das temperaturas das pilhas (Figura 2), houve necessidade de revolver e adicionar água às mesmas. O revolvimento era feito com o auxílio de uma pá e de uma enxada. A pilha era completamente desfeita, os resíduos misturados, tirava-se uma amostra e voltava-se a formar a pilha.

Para verificação da humidade existente nas pilhas, foi utilizado um método expedito que se resumia em apertar um pouco da mistura de resíduos na mão e se aparecessem algumas gotículas entre os dedos, não era necessário adicionar água. Se não se formassem gotículas entre os dedos, haveria necessidade de adicionar água à pilha para a compostagem evoluir de forma correcta.

Foram recolhidas amostras de cerca de 200 g de composto de cada pilha nos dias 19, 24 e 27 de Agosto, 7, 17 e 28 de Setembro, 5 de Outubro, 19 de Novembro e 9 de Dezembro de 2008, tal como se apresenta no Quadro 2. Nos últimos meses do processo as amostras foram colhidas mais espaçadamente, pois a sua evolução era mais lenta. A recolha era efectuada nos mesmos pontos de determinação da temperatura, abaixo descritos. Das amostras recolhidas, foram seleccionadas as dos dias 19 de Agosto, 17 de Setembro, 19 de Novembro e 9 de Dezembro para serem analisadas, correspondendo, respectivamente aos 0, 29, 92 e 108 dias após o início do processo de compostagem.



Figura 2 - Pormenor de uma pilha onde decorria a medição da temperatura

Ao longo do processo de compostagem, foram verificadas variações na temperatura das pilhas, à medida que estas se iam revolvendo. A certa altura, o revolvimento da pilha não trouxe qualquer alteração à temperatura, o que ajudou a perceber que os compostos poderiam estar a estabilizar.

Quadro 2 - Datas de colheita das amostras

Data	<u>19 Ago.</u>	<u>24 Ago.</u>	<u>27 Ago.</u>	<u>7 Set.</u>	<u>17 Set.</u>	<u>28 Set.</u>	<u>5 Out.</u>	<u>19 Nov.</u>	<u>9 Dez.</u>
Dias após início do processo	0	5	8	19	29	40	47	92	108

3.1.1. Métodos de análise

A análise das amostras recolhidas consistiu na avaliação de parâmetros físicos e físico-químicos (temperatura, teor de humidade, pH e condutividade eléctrica) e químicos (azoto total, matéria orgânica, carbono total, razão C/N, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, zinco, cobre e razão C/P).

3.1.1.1. Parâmetros físicos e físico-químicos

Temperatura

A temperatura foi avaliada com um termómetro digital em 3 pontos na pilha. Em cada um destes pontos as temperaturas foram medidas no topo, no meio e na base da pilha, perfazendo 9 amostragens no total, em cada uma das datas consideradas (Figura 3). As medições tiveram lugar duas vezes por dia (de manhã e à tarde) durante 48 dias e apenas uma vez por dia (à tarde) na fase final do processo. Durante a realização dos ensaios foi igualmente medida a temperatura ambiente.



Figura 3 - Esquema dos pontos de leitura da temperatura na pilha

Teor de humidade

O teor de humidade foi determinado por gravimetria após secagem a 100-105 °C de cerca de 0,5 g de amostra até peso constante, durante 24 horas numa estufa. Os resultados foram expressos em %.

pH e condutividade eléctrica

O pH e a condutividade eléctrica foram determinados num extracto aquoso preparado com cerca 10 g de amostra em 100 ml de água destilada (proporção 1:10), após 1 hora de contacto com agitação ocasional (Figura 4). Os resultados relativos à condutividade eléctrica foram expressos em mS cm^{-1} .



Figura 4 - Aparelho medidor de pH

3.1.1.2. Parâmetros químicos



Azoto total

O azoto total foi determinado pelo método de Kjeldhal (Figura 5). Os resultados foram expressos em % (g/100 g de matéria seca da amostra).

Figura 5 - Aparelho de destilação do azoto total

Matéria orgânica e carbono total

A matéria orgânica foi determinada por gravimetria após calcinação da amostra, em mufla, a 500-550 °C durante, pelo menos, 8 horas. Os resultados foram expressos em % (g/100 g de matéria seca da amostra).

A % de carbono total foi calculada através da seguinte expressão:

$$\% \text{ Carbono total} = \frac{\% \text{ matéria orgânica total}}{2,0}$$

Tendo sido utilizado o factor empírico de conversão 2,0 sugerido por Zucconi e Bertoldi (1987).

Razão C/N

A razão C/N foi calculada através da seguinte expressão:

$$\text{Razão C / N} = \frac{\% \text{ carbono total}}{\% \text{ azoto total}}$$

Elementos minerais

Após a calcinação da amostra a 500-550 °C, durante pelo menos 8 horas, procedeu-se à sua mineralização com uma solução de HCl 3N em banho-maria fervente. Os doseamentos do K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Cu, foram efectuados por espectrofotometria de absorção atómica tendo-se utilizado um espectrofotómetro *Unicam SP9*. Os resultados foram expressos em % (g/100 g de matéria seca da amostra) para os elementos K, Ca e Mg, e em ppm (mg/kg de matéria seca da amostra) para os elementos Fe, Mn, Zn e Cu.

O doseamento do P foi realizado por espectrofotometria de absorção molecular. Usou-se o vanadomolibdato de amónio como reagente para o desenvolvimento da cor. A

absorvância foi lida a 375 nm num espectrofotómetro de duplo feixe *Hitachi U – 2000*. Os resultados foram expressos em % (g/100g de matéria seca da amostra).

Razão C/P

A razão C/P foi calculada através da seguinte expressão:

$$Razão\ C / P = \frac{\% \text{ carbono total}}{\% P}$$

3.2. Tratamento do composto, sementeira e plantação

Uma forma simples para verificar a estabilidade do composto é através de ensaios de germinação e de crescimento. Por isso, foi efectuada uma sementeira de alface (*Lactuca sativa* L.) para confirmar a estabilidade dos compostos e a sua capacidade para sustentar o desenvolvimento das plantas até à plantação. Esta cultura foi escolhida por ser de rápida germinação, aumentando o seu peso fresco de biomassa de folha durante um período de vegetação curto (Gadjos, 1997).

Usou-se a variedade Matinale, que é uma das mais resistentes ao míldio, facto que na altura do ano em que se realizou este ensaio é muito importante, para não influenciar os resultados.

Foram também plantados amores-perfeitos na fracção dos compostos com dimensão superior a 0,5 mm.

3.2.1. Sementeira de alface e plantação de amores-perfeitos

Foram recolhidos aproximadamente 10 kg de cada pilha de composto no dia 9 de Dezembro de 2008, 108 dias após o início do processo de compostagem, que foram posteriormente crivados com um crivo de malha de 0,5 mm (Figura 6).

Depois da crivagem recorreu-se a um método expedito para determinar a



Figura 6 - Pormenor de um dos compostos depois de ser crivado

densidade da turfa e dos compostos obtidos, que consistiu em pesar o conteúdo de um copo medidor de 1 L, com os diferentes compostos e com a turfa.



Figura 7 - Plantação dos amores-perfeitos com a fracção de composto superior a 0,5 mm

No dia 15 de Dezembro 2008, a fracção superior a 0,5 mm foi utilizada para a plantação de flores em vaso (Figura 7) e a fracção inferior a 0,5 mm foi misturada em diferentes quantidades com a turfa para proceder à sementeira de alface.

A turfa que habitualmente se utiliza para fazer sementeira de alface em tabuleiros de 294 alvéolos, no viveiro onde decorreu o estudo é a chamada turfa loira. Esta turfa é extra- fina (0-5 mm), tem uma densidade de 75 g/L, um pH de 5,5 e uma condutividade eléctrica de 0,21mS/cm. É uma turfa fertilizada com N-P-K (12,5-15-27), Mg (6 kg/m³) e o seu conteúdo em nutrientes solúveis é 100 mg/L de N (62 mg/L – NO₃⁻ e 38 mg/L – NH₄⁺), 120 mg/L de P (P₂O₅) e 200 mg/L de K (K₂O).

Para cada um dos quatro compostos obtidos, A, B, C e D foram preparadas quatro proporções, 25% de composto e 75% de turfa (25/75), 50% de composto e 50% de turfa (50/50), 75% de composto e de 25% de turfa (75/25) e 100% de composto (100). Com estas 16 misturas diferentes foram preparados 16 tabuleiros de sementeira de alface, cada um com 294 alvéolos. Também foi feita a sementeira de um tabuleiro igual apenas com turfa, sendo esta a testemunha (Figura 8).



Figura 8 - Tabuleiro semeado

Sendo este um ensaio de germinação procedeu-se à contagem de plantas germinadas em diferentes datas. Cinco semanas após a sementeira, a maioria das plantas tinham atingido o tamanho ideal para serem vendidas e foram, por isso, recolhidas amostras de 20 plantas de cada tabuleiro de 294 alvéolos, para separar a parte aérea da parte radicular e proceder à sua secagem para avaliação do seu crescimento.

Mais tarde, uma amostra das plantas produzidas, em cada uma das misturas consideradas, foi analisada no Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, para fundamentar algumas das observações visuais no sentido de melhor avaliar o comportamento das plantas perante as diferentes misturas.

Uma vez produzidas as plantas no viveiro, duas proporções de cada composto com turfa estavam vendáveis e idênticas às produzidas apenas com turfa, por isso procedeu-se à sua plantação para verificar o crescimento das plantas em condições reais.

3.2.2. Preparação das plântulas para análise



Figura 9 - Aspecto das plantas à saída do viveiro

Numa primeira fase separaram-se as duas partes da planta e retirou-se a maioria do substrato, numa fase posterior as amostras foram lavadas com água desmineralizada e foi-lhes retirado o excesso de água antes de as pesar numa balança analítica. A secagem foi feita numa estufa de ventilação forçada a 65 °C, durante 48 horas e logo após foi feita

a pesagem do material para avaliação do peso seco deste (Figura 10).

O material vegetal foi devidamente identificado e guardado em sacos apropriados, até se efectuar a moenda da parte aérea das plantas num moinho tipo Willey, reduzindo as



Figura 10 - Secagem das plantas na estufa do Horto de Química Agrícola

amostras a partículas de diâmetro inferior a 1 mm, para posterior análise no Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.

3.2.2.1. Métodos analíticos utilizados nas amostras de alface

As determinações analíticas foram efectuadas no material moído e homogeneizado, tendo sido avaliados para além da percentagem de matéria seca, os teores de azoto, de fósforo, de potássio, de cálcio, de magnésio, de enxofre, de ferro, de manganês, de zinco, de cobre e de boro segundo os métodos em uso no Laboratório Rebelo da Silva (*Duarte et al.*, 1998).

O azoto foi determinado pelo método de Kjeldahl e os resultados foram expressos em % a m.s. a 100-105°C.

As determinações de fósforo, de potássio, de cálcio e de magnésio foram efectuadas numa solução clorídrica das cinzas obtidas por incineração de uma toma de material vegetal em mufla a 480-500 °C, durante quatro horas. O fósforo foi determinado tomando uma

alíquota da solução clorídrica das cinzas, à qual se adicionou o reagente de vanadomolibdato de amónio em meio nítrico, o qual forma com o ião fosfato um sal de amónio do heteropoliácido fosfovanadomolibdeico, de cor amarela, cuja absorvância foi medida num espectrofotómetro de absorção molecular a 375 nm. A determinação do potássio foi efectuada na solução clorídrica das cinzas, mediante diluição adequada, através da leitura num fotómetro de chama. O cálcio e o magnésio foram determinados na solução clorídrica das cinzas, por espectrofotometria de absorção atómica, mediante diluição adequada, e na presença de cloreto de lantânio o qual tem por finalidade reduzir as interferências, na determinação dos dois elementos, causadas pela presença de alumínio, fósforo, silício e titânio e, no caso do cálcio, também de berílio, de vanádio e de zircónio. Os resultados foram expressos em percentagem, relativamente à matéria seca a 100-105 °C.

O ferro, o manganês, o zinco e o cobre foram também determinados na solução clorídrica das cinzas por espectrofotometria de absorção atómica e o boro pelo método da curcumina-ácido oxálico. Os resultados foram expressos em ppm (mg/kg) relativamente à matéria seca a 100-105 °C.

3.2.3. Plantação das alfaces

Uma vez que o objectivo do viveiro é vender plantas de qualidade, foi proposta a plantação de uma amostra de plântulas de alfaces vendáveis. Entre elas estavam as alfaces produzidas em turfa, em proporções de 25% dos compostos e 75% de turfa e em proporções de 50% dos compostos e 50% de turfa. Estas alfaces constituíram 3 grupos de 12 plantas de cada proporção de turfa e composto e foram plantadas entre outras alfaces numa exploração que tem produção de hortícolas, tendo, portanto, sido sujeitas ao mesmo maneio do que as plantas vendidas posteriormente.



A exploração onde se efectuou a plantação é a Bidohorta produtos hortícolas, Lda, situada na freguesia da Bidoeira de Cima, concelho de Leiria. O terreno da exploração é franco-arenoso e o sistema de rega utilizado é a aspersão.

Depois da colheita, efectuada no dia 3 de Abril de 2009, foram pesadas todas as alfaces individualmente.

Figura 11 - Aspecto das alfaces à colheita

4. Resultados e Discussão

4.1. Parâmetros físicos e físico-químicos dos materiais iniciais

Para se iniciar o processo de compostagem é fundamental conhecer as características dos materiais a compostar. Como já foi dito, a razão C/N óptima para a compostagem é de 25-35 (Jhorar *et al.*, 1991) e para se controlar este e outros factores foi necessário analisar o material inicial do processo de compostagem.

Como se pode verificar, os cortes de alho/cebola são os que têm maior humidade e condutividade e o seu pH é muito ácido. Este material inicial vai ser importante para explicar, mais tarde, algumas tendências observadas na evolução da compostagem das diferentes pilhas, uma vez que a sua proporção não foi igual em todas elas.

O estrume de bovino seco tem um baixo teor de humidade, o que proporcionou um equilíbrio com outros materiais mais húmidos. Neste caso, o pH é bastante básico, tal como o da serradura fina. Já a condutividade destes dois materiais é bastante baixa comparativamente à dos outros materiais iniciais.

Quadro 3 – Teores de humidade, matéria seca, pH e condutividade eléctrica dos materiais iniciais

	Humidade (%)	M. Seca (%)	pH	Condut. (mS/cm)
Estrume de bovino seco	11,08	88,92	8,56	2,94
Restos de silagem	40,08	59,92	5,28	4,23
Restos de turfa e plântulas	65,46	34,54	7,24	6,58
Serradura fina	63,58	36,42	8,92	2,88
Cortes de alho/cebola	90,44	9,56	3,99	7,11

A condutividade eléctrica de um composto está directamente relacionada com a condutividade eléctrica dos materiais que lhe deram origem e uma vez que esta variável tem tendência a aumentar durante o processo de compostagem, devido à mineralização da matéria orgânica, é necessário controlá-la através da mistura dos materiais iniciais em proporções adequadas.

A serradura fina foi o material inicial com razão C/N mais elevada, como se pode verificar no Quadro 4. Sendo assim, este material foi fundamental para equilibrar esta razão nas pilhas de compostagem. Também o resto de turfa e plântulas ajudaram ao equilíbrio desta razão.

Para além do carbono e do azoto serem muito importantes para o processo da compostagem, também o fósforo o é e, por isso, é necessário ter em conta a razão C/P para promover uma adequada proliferação microbiana. Segundo Márquez *et al.* (2008), a razão C/P óptima encontra-se no intervalo 75-150, sendo assim, pode-se verificar na seguinte tabela, que esta razão se encontra no intervalo correcto nos restos de silagem, na serradura fina e nos cortes de alho/cebola.

Quadro 4 – Teores de matéria orgânica, carbono orgânico, razão C/N, azoto total, fósforo e razão C/P dos materiais iniciais

	M. O. (% na m.s.)	C. O. (% na m.s.)	Razão C/N	N total (% na m.s.)	P (g/100g na m.s.)	Razão C/P
Estrume de bovino seco	74,06	37,03	18,42	2,01	1,33	27,84
Restos de silagem	72,12	36,06	15,54	2,32	0,38	94,89
Restos de turfa e plântulas	79,40	39,70	43,63	0,91	0,06	661,67
Serradura fina	91,22	45,61	61,63	0,74	0,37	123,27
Cortes de alho/cebola	88,46	44,23	14,09	3,14	0,31	142,68

No Quadro 4, apresentam-se, ainda, os valores de carbono para a compostagem, visto este ser o elemento que deve estar presente em maior quantidade, seguido do azoto e do fósforo (Márquez *et al.*, 2008). Os valores de carbono orgânico de todos os materiais iniciais são idênticos e por isso a razão C/P apenas se justifica com os valores de P. Com os teores de N mais elevados, superiores a 2%, encontram-se os cortes de alho/cebola, os restos de silagem e o estrume seco.

Como já foi referido o fósforo é um elemento muito importante no processo de compostagem e encontra-se bem representado nos restos de silagem, na serradura fina e nos cortes de alho/cebola que proporcionam, por isso, uma boa razão C/P à mistura. Já no estrume de bovino seco o valor de fósforo é muito elevado e por isso a sua razão C/P é muito baixa, ao contrário dos restos de turfa e plântulas com uma razão C/P é muito elevada devido ao valor de fósforo ser muito reduzido.

Todos os outros elementos apresentados no Quadro 5 têm um papel importante na síntese das enzimas, no metabolismo dos microrganismos e nos mecanismos de transporte intra e extracelular, como já foi referido.

Quadro 5 - Teores de macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e de micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu) nos materiais iniciais

	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	g/100g na m.s.				mg/kg na m.s.			
Estrume de bovino seco	1,33	1,43	4,04	0,53	1700,00	400,00	299,95	164,39
Restos de silagem	0,38	1,29	0,92	0,24	600,00	80,00	92,41	24,53
Restos de turfa e plântulas	0,06	0,98	2,94	1,26	3500,00	110,00	50,01	361,25
Serradura fina	0,37	0,88	0,92	1,61	400,00	380,00	99,72	49,72
Cortes de alho/cebola	0,31	3,27	1,31	3,60	300,00	105,00	8,48	2,51

4.2. Análises aos compostos obtidos

4.2.1. Parâmetros físicos e físico-químicos ao longo do processo de compostagem

4.2.1.1. Temperatura

Como já foi referido, a temperatura foi um factor que se controlou desde o início do processo de compostagem para verificar a evolução do mesmo.

Nas Figuras que se seguem estão representados os valores de temperatura medidos para os diferentes compostos, de manhã e de tarde, sendo os dias de revolvimento das pilhas identificados com as setas encarnadas. Os nove locais de medição da temperatura, assim como a temperatura ambiente, encontram-se representados com linhas coloridas no lado direito das figuras.

Na Figura 12 pode-se verificar que na pilha A a temperatura mais elevada (66,8 °C) ocorreu no ponto 5 no dia 21 de Agosto de 2008, dois dias após o início da compostagem. As temperaturas mais elevadas verificaram-se sempre no ponto 5, devido ao facto de este ser o ponto mais interior da pilha e por isso aquele que arrefecia com maior dificuldade, desde que tivesse oxigénio.

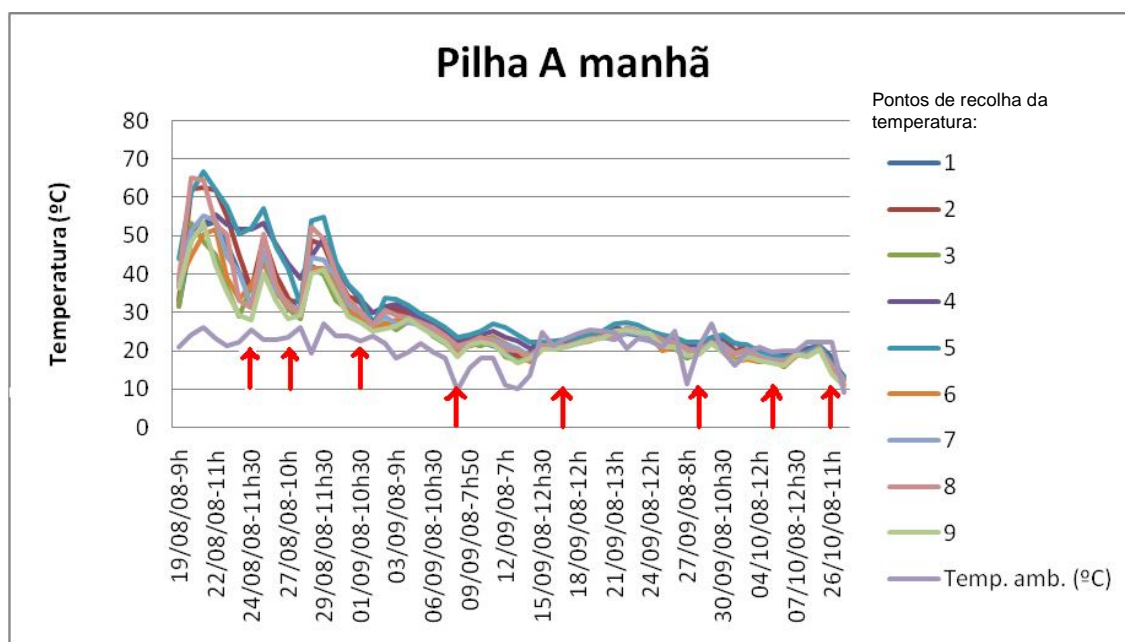


Figura 12 – Temperaturas medidas durante a manhã na pilha A, estando identificados os pontos de recolha com a numeração de 1 a 9 e os dias de revolvimento da pilha com as setas encarnadas

A fase termófila da pilha A ocorreu durante 6 dias, pois a sua temperatura esteve acima dos 45 °C durante este intervalo de tempo. Sendo assim, e visto que as temperaturas verificadas estavam num intervalo de 37° C a 71 °C durante 3 a 5 dias, pode assumir-se que este composto ficou isento de doenças e as sementes de infestantes que poderiam existir ficaram inactivas (Campbell, 2005).

Sung e Ritter (2008) observaram durante o seu estudo que havia uma massa branca no interior da pilha, nos dias em que se constatarem as temperaturas mais elevadas, logo, na fase termófila. O mesmo se verificou nos materiais em decomposição nas pilhas A, B e C, no primeiro revolvimento (24 de Agosto de 2008). Como se pode observar na Figura 13, durante o revolvimento, confirmou-se a existência de uma massa branca que, após o arejamento da pilha e consequente arrefecimento, desapareceu.



Figura 13 – Pormenor da massa branca na pilha A identificando a fase termófila

As setas encarnadas identificam, como já referido, os dias em que a pilha foi revolvida e é possível verificar uma alteração no gráfico após o revolvimento, pois este permitiu a entrada de oxigénio na pilha, favorecendo os microrganismos aeróbios que, ao processarem os materiais em decomposição, aumentaram novamente a temperatura do composto.

Na pilha A foi adicionada água nos dias 1 de Setembro (5 L), 7 de Setembro (4 L), 17 de Setembro (10 L), 28 de Setembro (10 L), 26 de Outubro (5 L) e 19 de Novembro (10 L).

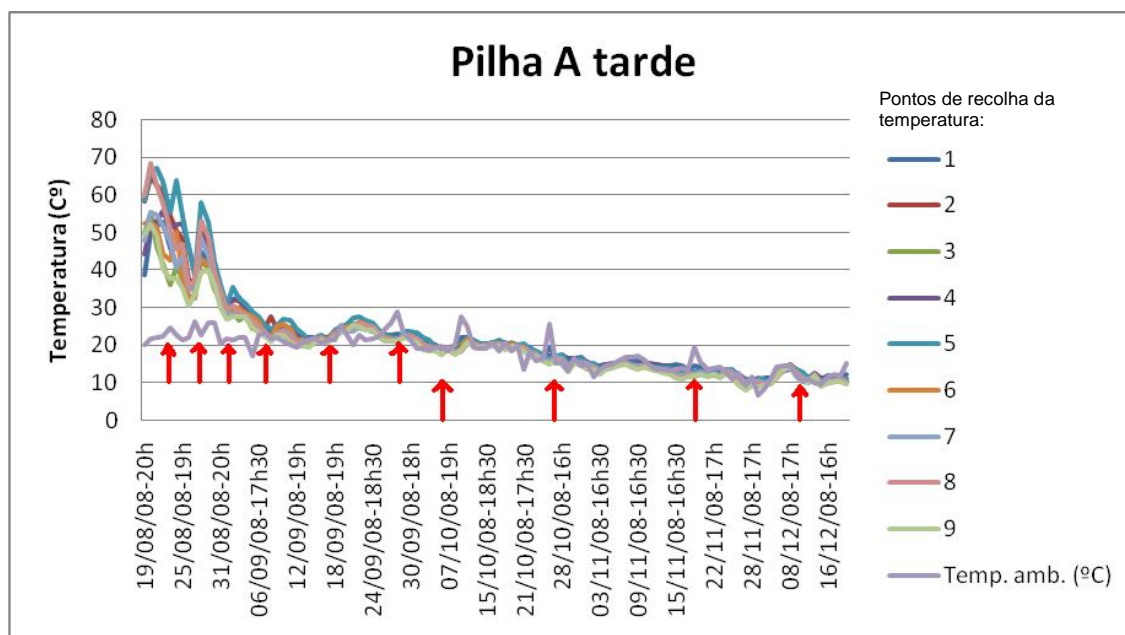


Figura 14 – Temperaturas medidas durante a tarde na pilha A estando identificados os pontos de recolha com a numeração de 1 a 9 e os dias de revolvimento da pilha com as setas encarnadas

Na Figura 14 que representa a temperatura da pilha A à tarde, pode verificar-se que a temperatura mais elevada ocorreu no ponto 8 (68,3 °C), no dia seguinte à formação da pilha (20 de Agosto de 2008). Esta subida rápida, logo após a formação da pilha ter-se-á devido à presença de maior quantidade de corte de alho/cebola, que é um material inicial com um teor elevado de humidade (90,4%) e por isso muito putrescível, provocando o aumento da temperatura.

Uma vez que logo após a subida de temperatura referida, ocorreu uma descida brusca, decidiu-se modificar as dimensões das pilhas, de modo a que estas proporcionassem um menor contacto com o ar, reduzindo as perdas de calor. O redimensionamento das pilhas ocorreu no dia 27 de Agosto de 2008 e como se pode verificar nas figuras, proporcionou um aumento de temperatura. Com 1,5 m de comprimento, 0,50 m de altura e 0,80 m de largura nas pilhas, a temperatura atingiu novamente os 57 °C. Para além das novas dimensões, as pilhas foram cobertas com um plástico transparente, apenas durante a noite, para que o choque térmico não fosse tão acentuado.

Na Figura 15 constam as temperaturas medidas durante a manhã na pilha B. Pode-se verificar que a temperatura mais elevada ocorreu no ponto 8 (65 °C) no dia 20 de Agosto de 2008. Este ponto era interior e por isso a perda de calor não ocorreu com facilidade. O ponto mais central da pilha era o ponto 5 e tal como na pilha A, nesta pilha também se conseguiram alcançar temperaturas entre os 37 °C e os 71 °C, durante 8 dias consecutivos, o que sugere, por isso, que este composto ficou higienizado.

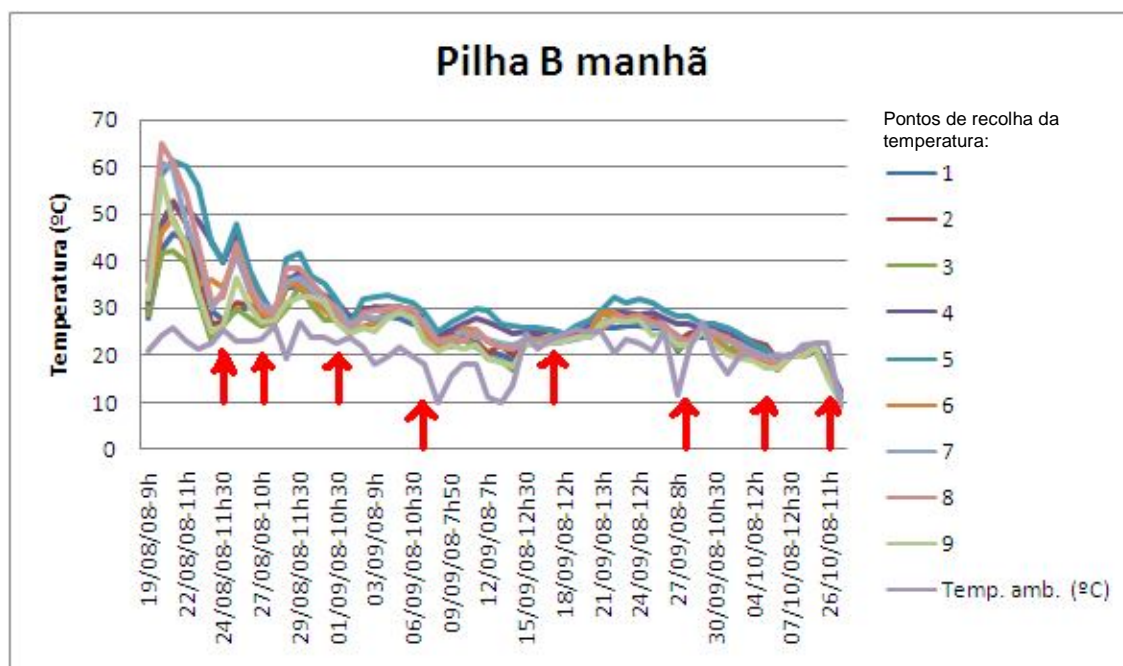


Figura 15 – Temperaturas medidas durante a manhã na pilha B estando identificados os pontos de recolha com a numeração de 1 a 9 e os dias de revolvimento da pilha com as setas encarnadas

Também nas Figuras referentes à pilha B é possível verificar que logo após o revolvimento da pilha, ocorreu um aumento da temperatura devido à entrada de oxigénio.

Na Figura 16 pode-se confirmar que a temperatura da pilha nos três pontos centrais (2, 5 e 8) foi superior a 45 °C (fase termófila) vários dias seguidos, com a temperatura máxima no ponto 8 de 65,4 °C. A adição de água na pilha B foi feita nos mesmos dias que na pilha A e com as mesmas quantidades.

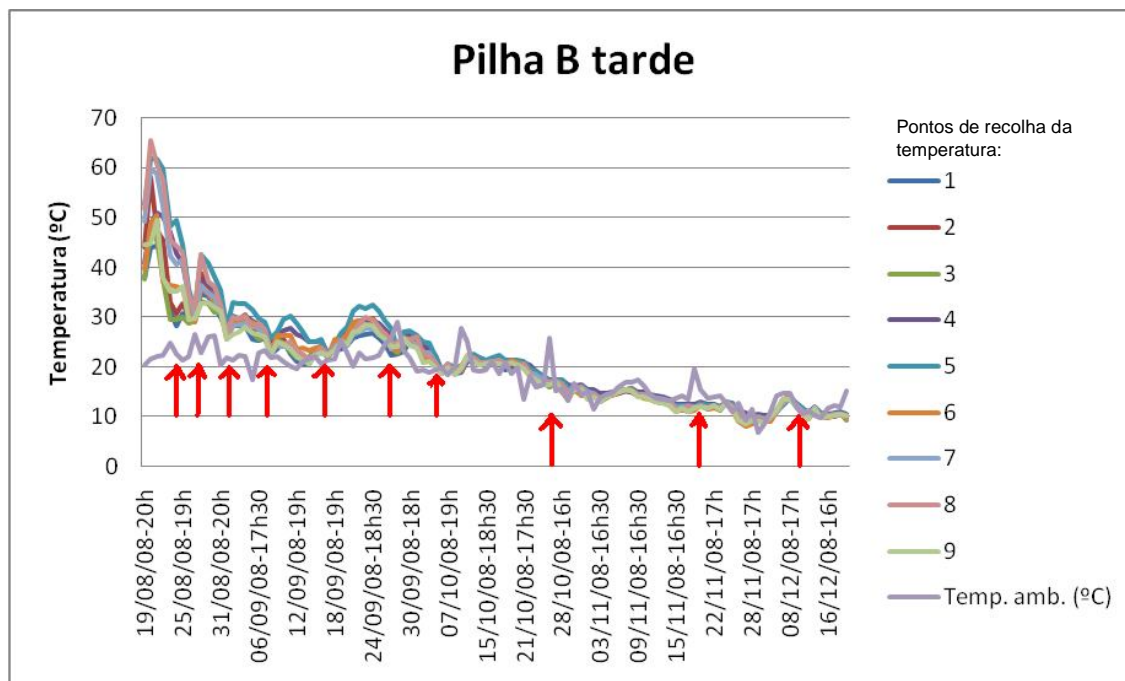


Figura 16 – Temperaturas medidas durante a tarde na pilha B estando identificados os pontos de recolha com a numeração de 1 a 9 e os dias de revolvimento da pilha com as setas encarnadas

Na Figura 17 encontram-se registadas as temperaturas da pilha C durante a manhã. Em comparação com as pilhas A e B, as temperaturas da fase termófila desta pilha não foram tão elevadas. A temperatura mais elevada verificou-se no dia 21 de Agosto de 2008 no ponto 8 e foi de 57,9 °C. Mesmo assim, confirmou-se a higienização do composto, pois as temperaturas necessárias (entre os 37 °C e os 71 °C) foram verificadas durante 5 dias consecutivos a partir do dia 20 de Agosto e, mais tarde, depois de se cobrirem as pilhas com plástico durante a noite e de se alterarem as suas dimensões, registaram-se 4 dias com temperaturas acima dos 37 °C.

Na pilha C adicionou-se água nos dias 7 de Setembro (2 L), 17 de Setembro (10 L), 28 de Setembro (10 L), 26 de Outubro (5 L) e 19 de Novembro (10 L).

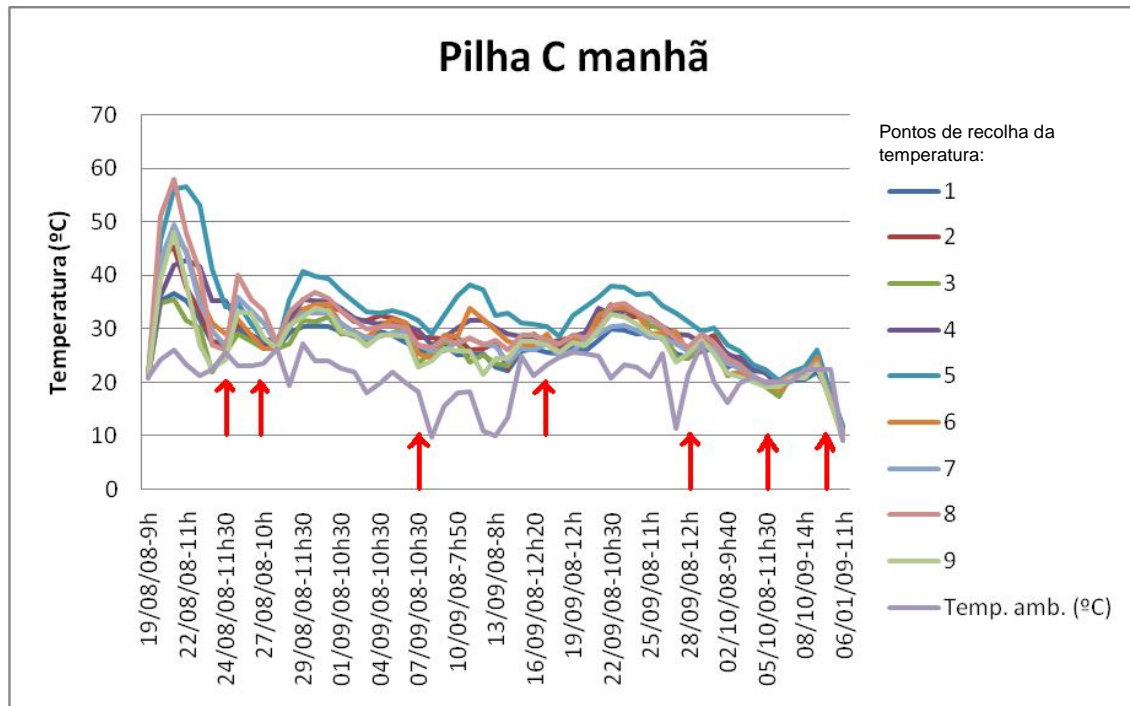


Figura 17 – Temperaturas medidas durante a manhã na pilha C estando identificados os pontos de recolha com a numeração de 1 a 9 e os dias de revolvimento da pilha com as setas encarnadas

Durante a tarde, a pilha C teve um comportamento muito idêntico ao da manhã, tendo sido verificada a temperatura mais elevada no mesmo ponto no dia 20 de Agosto de 2008 (Figura 18). Também nas figuras representativas desta pilha se pode verificar que, após o revolvimento, ocorreu uma subida da temperatura.

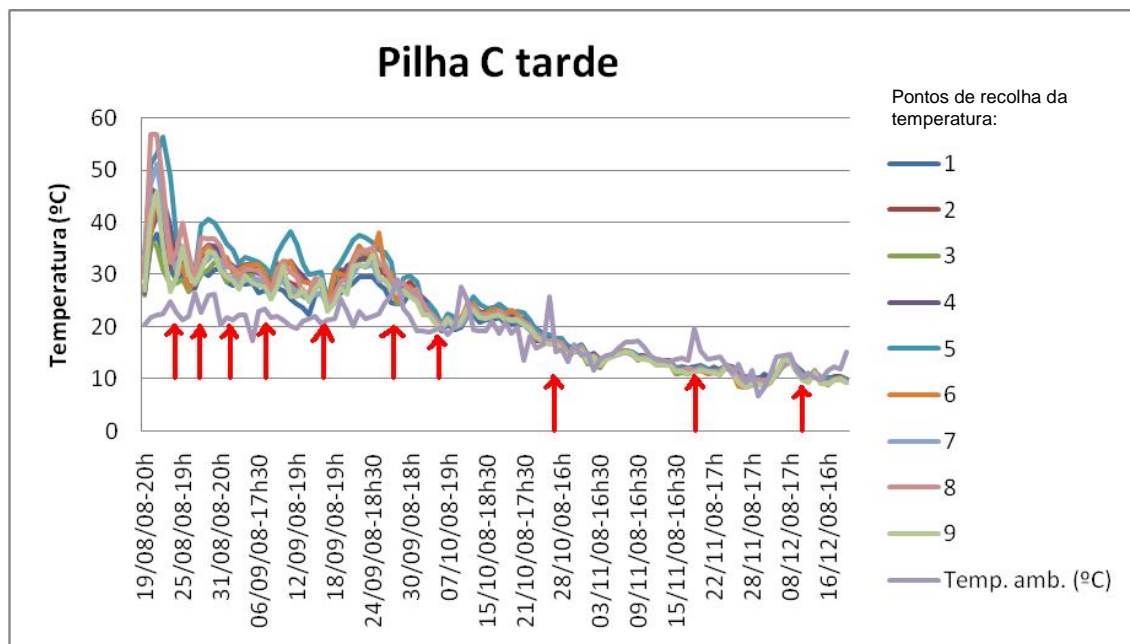


Figura 18 – Temperaturas medidas durante a tarde na pilha C estando identificados os pontos de recolha com a numeração de 1 a 9 e os dias de revolvimento da pilha com as setas encarnadas

A pilha D foi a única que mostrou um comportamento diferente no que diz respeito ao aumento de temperatura, o qual apenas se verificou 10 dias depois do início da compostagem (Figuras 20 e 21). Este aumento tardio na temperatura poderá ter-se devido ao facto de não existir o corte de alho/cebola nesta pilha, pois este material inicial, como já foi referido, era muito putrescível, proporcionando um aumento de temperatura repentino. Sendo esta pilha constituída apenas por 3 dos materiais iniciais (restos de turfa e plântulas, serradura fina e estrume seco), não se verificou esta subida de temperatura, como aconteceu nas pilhas anteriormente descritas.



Figura 19 – Aspecto geral de uma pilha no final da compostagem

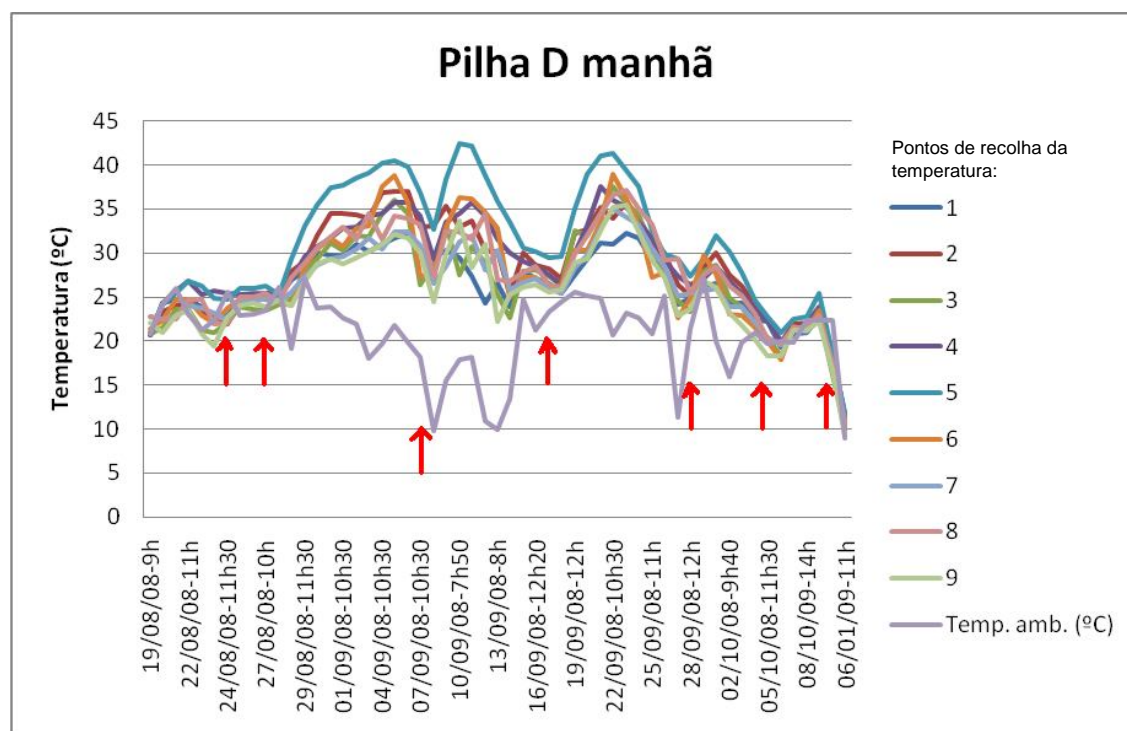


Figura 20 – Temperaturas medidas durante a manhã na pilha D estando identificados os pontos de recolha com a numeração de 1 a 9 e os dias de revolvimento da pilha com as setas encarnadas

Assim, na pilha D durante a manhã, a temperatura mais elevada (42,4 °C) ocorreu no ponto 5 no dia 10 de Setembro de 2008, aproximadamente um mês depois do início da compostagem. Apesar da temperatura desta pilha não ter alcançado valores muito elevados, o intervalo de tempo em que as temperaturas foram superiores a 37 °C, foi de 12 dias, sendo que durante destes dias houve um revolvimento (7 de Setembro), que levou a um aumento da temperatura, prolongando a fase termófila. Ainda na Figura 20 é possível observar um aumento de temperatura após o revolvimento do dia 17 de Setembro, ocorrendo uma subida até aos 41,3 °C na manhã do dia 22 de Setembro, sendo a temperatura mais elevada (41,2 °C) da tarde desse mesmo dia. Nesta pilha, foram feitas as mesmas adições de água do que na pilha C, quer no que diz respeito às datas quer volumes de água.

Foram usados em todas as pilhas os mesmos métodos de medição de temperatura, de revolvimento, de determinação de humidade e adição de água, de recolha de amostras, e por isso, as diferenças que ocorreram entre elas apenas se devem às características dos materiais iniciais. Estes, como já foi dito neste trabalho, foram misturados nas pilhas em diferentes quantidades e foi apenas na pilha D que se eliminaram dois dos materiais, facto que pode ter influenciado a evolução das temperaturas que se constatou nas Figuras 20 e 21.

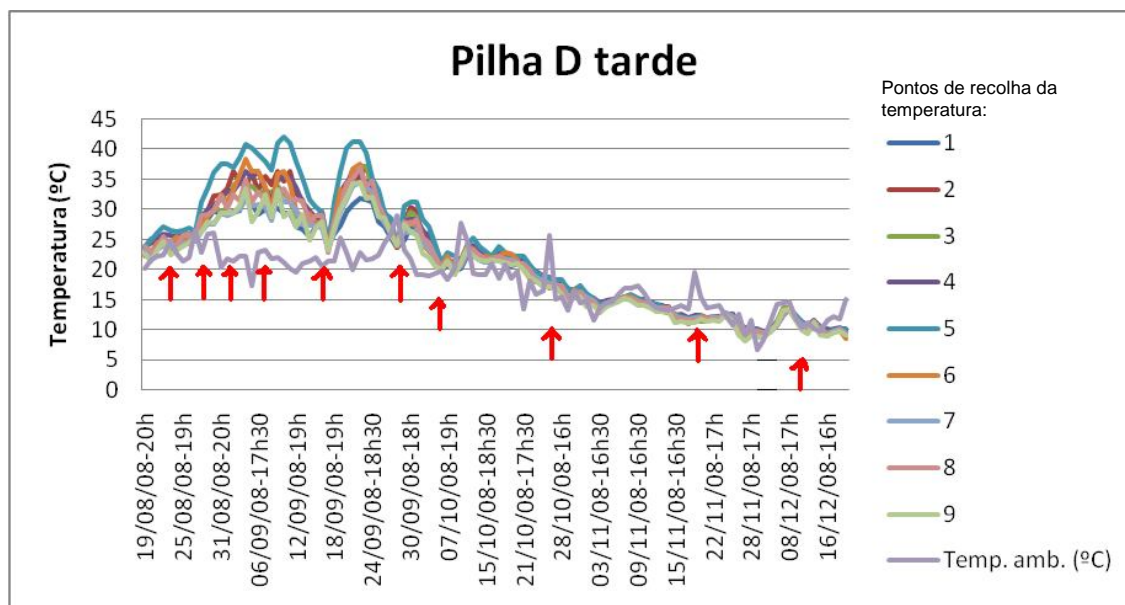


Figura 21 – Temperaturas medidas durante a tarde na pilha D estando identificados os pontos de recolha com a numeração de 1 a 9 e os dias de revolvimento da pilha com as setas encarnadas

Também já foi referido o facto de se ter colocado plástico em cima das pilhas durante a noite, para evitar que a amplitude térmica influenciasse o processo, e de se ter alterado as dimensões das pilhas para que a superfície de contacto com o ar não fosse tão grande.

Estas duas decisões foram tomadas tendo em conta a evolução do processo que se verificava. Foi necessário ter em conta os vários factores que influenciam a compostagem, para poder tomar qualquer decisão de forma a melhorar as condições para o processo que estava a decorrer.

Como se pode constatar, nas Figuras 14, 16, 18 e 21, referentes às temperaturas da parte da tarde das pilhas A, B, C e D, respectivamente, o intervalo de tempo que lhes corresponde é bastante superior às figuras 12, 15, 17 e 20, referentes às temperaturas da parte da manhã das mesmas. Esta diferença deve-se ao facto de a partir do mês de Outubro se ter verificado que a temperatura medida de manhã era muito idêntica à temperatura medida de tarde. Por isso, tomou-se a decisão de medir a temperatura das pilhas apenas uma vez por dia.

Em todos os gráficos está presente uma linha que representa a temperatura ambiente e foi comparando estes valores com os valores da temperatura das pilhas, que se pôde concluir que os compostos tinham entrado na fase de maturação. Uma vez que a temperatura das pilhas já não se alterava significativamente, quando estas eram revolvidas e que essa mesma temperatura se aproximava dos valores da temperatura ambiente, concluiu-se que o composto já estava formado. Sendo assim, como já se referiu, recorreu-se aos ensaios de germinação e de crescimento para verificar a maturidade do composto.

4.2.1.2. Teor de Humidade

A gestão da água no processo de compostagem é fundamental, devido às necessidades fisiológicas dos microrganismos, já que é o meio de transporte das substâncias solúveis que servem de alimento às células e para a difusão dos resíduos metabólicos (Hoitink *et al.*, 1995).

Segundo Márquez *et al.* (2008), os organismos microbianos têm o seu maior crescimento com teores de humidade entre 50% e 70%. Abaixo dos 30%, a actividade biológica decresce muito e acima dos 70% a água ocupa o espaço do ar entre as partículas, reduzindo a transferência de oxigénio, promovendo-se um processo anaeróbio.

No Quadro 6 podem ser comparados os valores de humidade, em %, dos diferentes compostos nas diferentes datas de colheita das amostras. Neles, é possível verificar que todos os compostos, em todas as datas, têm teores de água valores favoráveis ao desenvolvimento microbiano, o que permite concluir que as proporções de materiais constituintes das pilhas são adequadas. Apenas na pilha D no dia 19 de Novembro, se verificou um pequeno aumento do teor de humidade, que pode ter sido devido à adição de água na pilha nesse mesmo dia.

Quadro 6 - Teores de humidade (%) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	58,87	57,05	60,50	50,44
B	68,79	69,58	56,14	54,45
C	69,45	66,11	60,94	60,33
D	58,93	57,17	71,00	62,88

Comparando com o teor de humidade da turfa (64,43%), não se verificam diferenças que possam pôr em causa a qualidade do composto como substituto da turfa.

4.2.1.3. Matéria Seca

O cálculo da matéria seca foi efectuado para determinação de todos os valores de elementos minerais. Os seus valores apresentam-se no Quadro 7 e na turfa a m.s. é de 35,57%.

Quadro 7 - Teores de matéria seca (%) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	41,13	42,95	39,50	49,56
B	31,21	30,42	43,86	45,55
C	30,55	33,89	39,06	39,67
D	41,07	42,83	29,00	37,12

4.2.1.4. pH

De acordo com o que referiram Sundberg *et al.* (2004), o pH é uma variável usada para estudar a evolução da compostagem, pois mediante o seguimento do pH, pode-se obter uma medida indirecta do controlo do arejamento da mistura, uma vez que quando se criam condições de anaerobiose, se libertam ácidos orgânicos que provocam a descida do pH. Sendo assim, uma compostagem com arejamento adequado conduz a produtos finais com um pH entre 7 e 8, valores mais baixos indicam anaerobiose e, como tal, imaturidade do composto (Suler *et al.*, 1977). Se o pH se mantiver acima de 7,5 durante o processo, indicará uma boa decomposição.

Como se pode verificar no Quadro 8, os valores de pH para todos os compostos nas datas de amostragem ao longo do processo, são superiores a 7,5, sendo por isso, indicativos de uma boa decomposição. Na amostragem efectuada no dia 9 de Dezembro de 2008, pode-se constatar que os valores de pH das pilhas A, B e C se encontram entre 7 e 8, logo o estado de maturação ocorreu nesses compostos. Na mesma data verificou-se que o composto D tinha um pH de 8,54. Este valor é superior ao valor de referência (8) devido aos materiais iniciais desta pilha terem um pH bastante elevado (estrume de bovino seco - 8,56; restos de turfa e plântulas - 7,24; serradura fina - 8,92). O valor de pH da turfa é 5,77.

Quadro 8 - Valores de pH nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	8,29	8,01	7,79	7,96
B	8,25	8,77	8,08	7,58
C	8,11	8,84	8,38	7,99
D	8,54	8,57	8,59	8,54

4.2.1.5. Condutividade eléctrica

Quadro 9 - Valores de condutividade eléctrica (mS/cm) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	3,02	3,99	4,24	3,91
B	3,83	2,57	3,46	3,96
C	2,63	3,19	3,49	4,29
D	3,87	3,58	3,38	3,59

No Quadro 9 é possível verificar que os valores de condutividade eléctrica de todos os compostos são muito superiores aos da turfa (0,31 mS/cm) devido aos materiais iniciais, cuja condutividade também é muito elevada. Estes valores podem justificar os resultados devidos à utilização de 75% e 100% de composto nos ensaios de germinação e de crescimento, discutidos no próximo capítulo.

4.2.1.6. Densidade

Segundo Chiara e Berjon (2008), a densidade aparente óptima para um substrato utilizado nos viveiros tem de ser menor do que 200 g/L e, como pode constatar-se no Quadro 10, a densidade dos compostos encontra-se nesse intervalo, mesmo que seja um pouco superior à da turfa, pode-se considerar que a densidade dos compostos é favorável para a sua utilização em viveiros.

Quadro 10 - Valores da densidade (g/L) dos diferentes compostos e da turfa

	g/L
Turfa	41
Composto A	52
Composto B	57
Composto C	60
Composto D	57

4.2.2. Parâmetros químicos ao longo do processo de compostagem

4.2.2.1. Azoto total

No Quadro 11 pode-se verificar que os teores de azoto total dos compostos são superiores ao valor de azoto da turfa (1,14% na m. s.), o que pode influenciar a razão C/N.

Quadro 11 - Teores de azoto total (% na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	2,04	1,76	1,40	1,66
B	2,38	1,23	1,83	1,83
C	1,41	1,62	1,86	2,04
D	1,86	1,29	1,98	1,86

4.2.2.2. Matéria orgânica

Segundo Zucconi *et al.* (1987), as perdas de matéria orgânica devido à sua mineralização podem representar 20% de peso de massa compostada. No Quadro 12 podem-se comparar os valores de matéria orgânica dos materiais das pilhas com os mesmos valores da turfa (92,82% na m. s.) e verificar que são bastante inferiores. Pode ainda observar-se uma variação irregular em alguns destes valores. Apenas a pilha A e C apresentaram uma variação típica de perda de matéria orgânica.

Quadro 12 - Teores de matéria orgânica (% na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	76,78	76,46	69,14	66,34
B	80,60	85,74	70,84	71,58
C	84,08	82,22	67,28	68,62
D	71,44	75,34	84,06	77,06

4.2.2.3. Carbono total

Quadro 13 - Teores de carbono total (% na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	38,39	38,23	34,57	33,17
B	40,30	42,87	35,42	35,79
C	42,04	41,11	33,64	34,31
D	35,72	37,67	42,03	38,53

O C é um dos elementos fundamentais no processo de compostagem e deve ser o que se apresenta em maior quantidade. Uma vez que os teores de N se verificaram elevados, para se conseguir uma razão C/N equilibrada, são necessários valores de C também elevados, nos quatro compostos diferentes. Tal não aconteceu como se pode verificar no Quadro 13, que mostra que os valores de C de todas as pilhas são inferiores aos observados na turfa (46,41 % na m. s.), sendo bastante inferiores ao que seria desejável.

4.2.2.4. Razão C/N

No início do processo de compostagem a razão C/N óptima é de 25-35 (Jhorar *et al.*, 1991). Estes valores não ocorreram em nenhuma das pilhas devido à razão C/N dos materiais iniciais, mas no final do processo, todos os compostos, à excepção do D, apresentavam valores que demonstram a sua estabilidade uma vez que $C/N < 20$ (Golueke *et al.*, 1987; Zhu, 2006). A razão C/N da turfa é 40,71, um valor bastante superior ao de referência.

Quadro 14 - Razão C/N nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	18,82	21,72	24,69	19,98
B	16,93	34,85	19,36	19,56
C	29,82	25,38	18,09	16,82
D	19,20	29,20	21,23	20,72

4.2.2.5. Elementos minerais

Fósforo

Depois do C e do N, o P é o elemento mineral mais importante para o processo da compostagem. No Quadro 15 estão apresentados os teores de P em todas as pilhas ao longo do processo e pode-se verificar que são superiores aos teores da turfa (0,03 g/100g na m. s.), facto favorável ao equilíbrio nutritivo dos compostos.

Quadro 15 - Teores de P (g/100g na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	0,31	0,39	0,34	0,41
B	0,36	0,21	0,39	0,43
C	0,21	0,27	0,61	0,44
D	0,48	0,36	0,44	0,39

Potássio

Os teores de K observados ao longo do processo de compostagem (Quadro 16) demonstram que, também neste elemento, os compostos são mais ricos do que a turfa (0,11g/100g na m. s.).

Quadro 16 - Teores de K (g/100g na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	1,00	1,61	1,61	1,68
B	1,32	1,03	1,53	1,57
C	0,99	1,37	1,45	1,98
D	1,68	1,39	1,71	1,91

Cálcio e Magnésio

O Quadro 17 mostra que, à semelhança de outros elementos, também o Ca apresentou teores, nas diferentes pilhas, superiores aos da turfa (0,43g/100g de m. s.). O mesmo se verificou relativamente ao magnésio, cujo valor da turfa é de 1,67 g/100g de m. s. (Quadro18).

Quadro 17 - Teores de Ca (g/100g na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	0,39	0,74	0,57	0,67
B	0,37	0,70	0,72	1,25
C	0,50	0,73	0,83	1,39
D	0,71	0,63	0,81	1,60

Quadro 18 - Teores de Mg (g/100g na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	1,86	2,55	2,30	2,92
B	2,45	1,77	3,47	5,61
C	1,72	2,09	5,71	5,14
D	2,93	2,86	2,76	5,43

Ferro, Manganês, Zinco e Cobre

Os Quadros 19, 20, 21 e 22 apresentam os teores de Fe, Mn, Zn e Cu, respectivamente. Para estes quatro microelementos verificaram-se nos quatro compostos teores superiores aos da turfa (1042,81; 12,08; 55,25; 15,55 mg/kg na m. s., respectivamente), tal como no caso dos macroelementos estudados.

Quadro 19 - Teores de Fe (mg/kg na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	1075,89	1735,95	1553,49	1595,53
B	923,06	1505,02	1717,56	1486,23
C	1265,74	1643,61	1400,94	1653,98
D	1475,52	1454,42	1860,11	2010,60

Quadro 20 - Teores de Mn (mg/kg na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	120,17	167,34	116,98	146,07
B	147,67	109,52	146,13	138,41
C	108,87	145,66	199,98	146,39
D	209,55	139,57	227,24	162,96

Quadro 21 - Teores de Zn (mg/kg na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	129,43	158,68	110,66	152,99
B	183,11	103,97	150,48	158,83
C	191,72	133,34	178,20	172,21
D	171,68	154,25	213,19	179,46

Quadro 22 - Teores de Cu (mg/kg na m.s.) nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	98,75	279,44	194,44	159,91
B	115,95	192,47	184,90	181,12
C	197,63	278,50	235,98	213,83
D	216,15	224,98	383,94	284,17

4.2.2.6. Razão C/P

A razão C/P óptima para um composto final encontra-se no intervalo 75-150 (Márquez et al., 2008). Como se pode observar no Quadro 23, a razão C/P dos quatro compostos encontra-se dentro deste intervalo, o que permite concluir que os compostos obtidos são equilibrados.

Em comparação com a turfa (1547), a razão C/P dos compostos é muito inferior, devido ao teor elevado de C e ao baixo teor de P que se verificou neste substrato.

Quadro 23 - Razão C/P nas diferentes datas de colheita de amostras

	19-08-2008	17-09-2008	19-11-2009	09-12-2008
A	123,84	98,03	101,68	80,90
B	111,94	204,14	90,82	83,23
C	200,19	152,26	55,15	77,98
D	74,42	104,64	95,52	98,79

4.3. Valorização agronómica

Como já foi referido, após se verificar uma estabilização da temperatura foi necessário certificarmo-nos que os compostos estavam maturados. O grau de maturidade pode determinar-se de uma forma simples, mediante uma resposta vegetal. Existem vários ensaios biológicos para esse fim, mas o mais utilizado é o ensaio de germinação (Clark e Cavigelli, 2005; Verdonck e Penninck, 1985; Bugbee, 1996; Chong e Cline, 1996; Kostov *et al.*, 1996).

Para realizar o ensaio de germinação prepararam-se quatro proporções de composto e turfa, para cada composto e estas misturas foram analisadas de modo a justificar alguns comportamentos das plantas durante a germinação e o crescimento.

4.3.1. Análises das proporções composto/turfa

4.3.1.1. Teor de humidade

No Quadro 24 é possível observar que a maior percentagem de humidade se verificou nas proporções com maior quantidade de turfa, cuja humidade é 64,43%, isto é, nas proporções 25/75, reduzindo à medida que também foi diminuindo a quantidade desta. Comparando os diferentes compostos, verificou-se que o composto D foi o que apresentou maior percentagem de humidade, tal como já se tinha constatado no capítulo anterior.

Quadro 24 - Teor de humidade (%) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	58,26	54,21	51,92	50,44
B	60,02	57,68	56,21	54,45
C	62,35	60,62	61,14	60,33
D	63,29	63,31	63,36	62,88

4.3.1.2. pH

A análise do Quadro 25 mostra que todos os compostos obtidos, assim como todas as proporções, tinham um valor de pH superior ao da turfa (5,77) e que este aumentava com o aumento da quantidade de composto na mistura. No decorrer do estudo, foi possível verificar que as alfices produzidas nas proporções com maior quantidade de composto, foram as que apresentaram germinação e crescimento mais deficientes.

Quadro 25 - Valores de pH nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	6,74	7,06	7,25	7,96
B	6,87	7,21	7,53	7,58
C	6,73	7,07	7,29	7,99
D	7,18	7,60	8,06	8,54

4.3.1.3. Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica foi o factor que mais influenciou os resultados referidos anteriormente. Como se pode verificar no Quadro 26, os valores de condutividade eléctrica obtidos nos compostos foram muito superiores aos da turfa (0,31 mS/cm), o que influenciou a capacidade de absorção dos nutrientes por parte das plantas, uma vez que estas se encontravam num meio hipertónico. A germinação verificou-se em todas as proporções, mas nas de maior quantidade de composto, esta ocorreu um pouco mais tarde.

Quadro 26 - Valores de condutividade eléctrica (mS/cm) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	1,40	2,75	2,91	3,91
B	1,83	2,36	3,57	3,96
C	1,78	2,76	3,48	4,29
D	1,55	2,23	3,10	3,59

Ao longo do crescimento em viveiro as plantas foram regadas apenas com água, mas nessa mesma altura, estava a decorrer no viveiro um processo de controlo da condutividade e pH da água, sendo que esta estava a ser tratada de forma a ter uma condutividade eléctrica superior. Este factor externo ao estudo pode ter influenciado os resultados uma vez que proporcionou um aumento da condutividade, que nos compostos já era elevada.

Mesmo assim as plantas produzidas nas proporções 25/75 e 50/50 mostravam um crescimento idêntico ao da turfa, como se vai demonstrar mais tarde.

4.3.1.4. Azoto total

Tal como observado relativamente aos teores de azoto total de cada composto, superiores aos observados na turfa (1,14% na m. s.) também as diferentes proporções composto/turfa se revelaram mais ricos neste elemento. Para além disso, os teores de azoto aumentam à medida que a proporção de composto na mistura é superior.

Quadro 27 - Teores de azoto total (% na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	1,36	1,55	1,66	1,66
B	1,46	1,55	1,71	1,83
C	1,52	1,68	1,79	2,04
D	1,30	1,64	1,78	1,86

4.3.1.5. Matéria orgânica

Os teores de matéria orgânica das diferentes proporções apresentados no Quadro 28 indicam que à medida que a quantidade de turfa diminui, também diminui a percentagem de matéria orgânica na mistura. Tal é devido não só ao facto dos materiais iniciais terem um teor de M.O. menor do que a turfa (92,82% na m. s.), mas também à sua diminuição ao longo do processo de compostagem.

Quadro 28 - Teores de matéria orgânica (% na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	79,58	74,80	69,00	66,34
B	82,50	77,72	73,28	71,58
C	85,34	77,56	74,56	68,62
D	87,16	83,04	78,62	77,06

4.3.1.6. Carbono total

Também o carbono se encontra em menor quantidade nas diferentes proporções composto/turfa do que na turfa (46,41% na m. s.). As diferentes proporções preparadas com o composto D apresentaram teores de carbono total que se aproximam mais do valor de carbono da turfa (Quadro 29).

Quadro 29 - Teores de carbono total (% na m.s.) nas diferentes proporções composto turfa

	25/75	50/50	25/75	100
A	39,79	37,40	34,50	33,17
B	41,25	38,86	36,64	35,79
C	42,67	38,78	37,28	34,31
D	43,58	41,52	39,31	38,53

4.3.1.7. Razão C/N

Os valores da razão C/N das diferentes proporções composto/turfa apresentados no Quadro 30 permitem verificar que estes, mais uma vez, são inferiores aos da turfa (40,71), o que se deve ao facto de os teores de C dos compostos serem inferiores aos da turfa e os teores de N dos compostos serem superiores aos da turfa.

Quadro 30 - Razão C/N nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	25/75	100
A	29,26	24,13	20,78	19,98
B	28,25	25,07	21,43	19,56
C	28,07	23,08	20,83	16,82
D	33,52	25,32	22,08	20,72

4.3.1.8. Elementos minerais

Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio

Os teores dos macronutrientes P, K, Ca e Mg estão representados nos Quadros 31, 32, 33 e 34, respectivamente. Para todos estes macronutrientes foram verificados teores mais elevados nas diferentes proporções composto/turfa do que na turfa (0,03, 0,11, 1,67 e 0,43 g/100g na m. s., respectivamente)

Quadro 31 - Teores de P (g/100g na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	0,20	0,26	0,31	0,41
B	0,18	0,33	0,43	0,43
C	0,20	0,27	0,51	0,44
D	0,17	0,26	0,35	0,39

Quadro 32 - Teores de K (g/100g na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	0,81	1,05	1,27	1,68
B	0,56	1,06	1,60	1,57
C	0,91	1,07	1,94	1,98
D	0,67	0,90	1,46	1,91

Quadro 33 - Teores de Ca (g/100g na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	2,16	2,63	2,80	2,92
B	3,39	2,66	2,62	5,61
C	4,58	3,95	5,93	5,14
D	4,12	4,82	5,59	5,43

Quadro 34 - Teores de Mg (g/100g na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	0,52	0,57	0,59	0,67
B	0,56	0,58	0,70	1,25
C	1,18	0,61	1,54	1,39
D	1,11	1,27	1,52	1,60

Ferro, Manganês, Zinco e Cobre

Também no respeitante aos micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu, apresentados nos Quadros 35, 36, 37 e 38, respectivamente, foram observados teores mais elevados nas proporções composto/turfa do que na turfa (1042,81; 12,08; 55,25 e 15,55 mg/kg na m. s., respectivamente). É devido a estes teores de macro e microelementos tão elevados, que se verifica uma condutividade elevada nos compostos.

Quadro 35 - Teores de Fe (mg/kg na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	1265,18	1286,91	1439,40	1595,53
B	1006,63	1395,28	1730,66	1486,23
C	1288,64	1431,11	1626,46	1653,98
D	1336,13	1420,47	1839,59	2010,60

Quadro 36 - Teores de Mn (mg/kg na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	65,61	102,21	123,59	146,07
B	75,26	113,02	141,78	138,41
C	72,73	99,75	141,51	146,39
D	71,32	101,25	144,48	162,96

Quadro 37 - Teores de Zn (mg/kg na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	120,27	138,23	149,63	152,99
B	76,15	126,29	141,94	158,83
C	124,15	123,88	205,89	172,21
D	91,21	115,43	163,37	179,46

Quadro 38 - Teores de Cu (mg/kg na m.s.) nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	92,68	131,81	152,42	159,91
B	86,41	130,56	171,36	181,12
C	99,31	134,44	199,86	213,83
D	96,39	152,07	240,16	284,17

4.3.1.9. Razão C/P

Uma vez que o teor de carbono na turfa era mais elevado do que nos compostos e que o teor de fósforo na turfa era mais baixo do que nos compostos, era de esperar que a razão C/P fosse superior na turfa (1547,0) em comparação aos compostos, como se pode verificar no Quadro 39.

Quadro 39 - Razão C/P nas diferentes proporções composto/turfa

	25/75	50/50	75/25	100
A	198,95	143,85	111,29	80,90
B	229,17	117,76	85,21	83,23
C	213,35	143,63	73,10	77,98
D	256,35	159,69	112,31	98,79

4.3.2. Ensaio de germinação

Como já foi referido, o ensaio de germinação realizado neste estudo foi fundamental para avaliar em que estado de maturação se encontravam os compostos, pois se estes não estivessem maturados, poderiam causar toxicidade e não permitir uma adequada germinação das sementes.

No Quadro 40 constam o número de plantas germinadas nas diferentes proporções composto/turfa. A primeira data de contagem (21 de Dezembro) ocorreu 6 dias após a sementeira. Este período de tempo é normal para esta época do ano e o facto da testemunha ainda não ter plantas germinadas nesta data, prova isso mesmo. Neste dia apenas se contabilizaram plantas germinadas nas proporções 25/75 B, 25/75 D, 50/50 D e 75/25 D.

	21 Dezembro/08	22 Dezembro/08	29 Dezembro/08	5 Janeiro/09
Turfa	0	106	293	290
25/75 A	0	21	285	287
50/50 A	0	38	292	292
75/25 A	0	14	285	290
100 A	0	1	255	270
25/75 B	31	65	289	290
50/50 B	0	29	289	288
75/25 B	0	13	284	285
100 B	0	5	284	284
25/75 C	0	196	288	285
50/50 C	0	97	293	290
75/25 C	0	50	288	283
100 C	0	0	223	241
25/75 D	106	269	294	289
50/50 D	12	201	291	284
75/25 D	12	207	291	286
100 D	0	83	288	283

No segundo dia de contagem (22 de Dezembro) já se verificou um maior número de proporções com plantas germinadas. Apenas a mistura 100 C não tinha qualquer germinação e também se constatava que era nas proporções com 100% de composto, que se observava um menor número de germinações.

No dia 29 de Dezembro o número de plantas germinadas em todas as proporções já era muito significativo e confirmava a capacidade dos compostos enquanto substratos para sementeira de hortícolas.

Na última data (5 de Janeiro de 2009) houve uma nova confirmação do número de plantas obtidas após um processo habitual no viveiro denominado repicagem. A repicagem é um processo manual que promove a escolha de plantas num tabuleiro, proporcionando um tamanho equivalente em todas as plantas, eliminando as de menor qualidade e repondo plantas melhores até completar o tabuleiro. No vigésimo primeiro dia após a sementeira, já era possível efectuar este processo nos 17 tabuleiros do ensaio e como tal verificou-se, em alguns casos, uma redução de plantas de boa qualidade. Mesmo assim a utilização de composto como substrato para sementeira continuou a ser viável. Com efeito, em todas as proporções composto/turfa se obtiveram percentagens de germinação superiores a 96%. Constituíram excepção os tabuleiros semeados apenas com composto A (100 A) ou apenas com composto C (100 C) onde se obtiveram 91,84% e 81,97% de plantas germinadas, respectivamente.

É de salientar que, como habitualmente acontece no viveiro, alguns tabuleiros se encontravam mais ensombrados do que outros o que proporcionou nestes uma germinação mais tardia e até mesmo menor número de plantas germinadas.

4.3.3. Ensaio de crescimento

Após a confirmação das plantas germinadas, o acompanhamento dado durante o crescimento destas nos tabuleiros com diferentes proporções composto/turfa foi igual. Durante o desenvolvimento em viveiro, apenas se regaram as alfaces com água, não se adicionando qualquer nutriente.

Cinco semanas após a sementeira, a maioria das alfaces tinha atingido o tamanho ideal para a plantação. Foram recolhidas de 20 plantas de cada proporção, pesaram-se individualmente as raízes e a parte aérea e procedeu-se à secagem em estufa de ventilação forçada a 65 °C para determinação do peso seco médio da parte aérea e da raiz, para posterior análise.

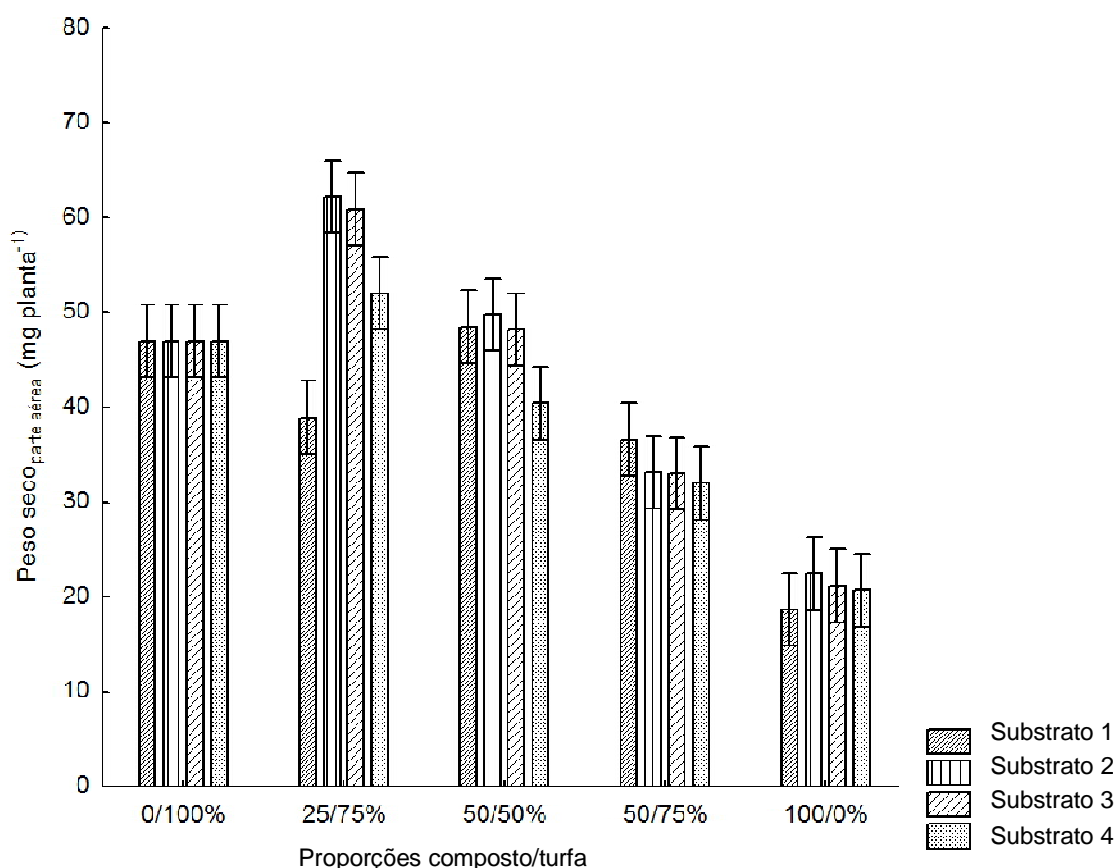


Figura 22 - Gráfico representativo do peso seco da parte aérea das alfaces (mg/planta) recolhidas à saída do viveiro. Substrato 1- plantas desenvolvidas na mistura de composto A com turfa; Substrato 2- plantas desenvolvidas na mistura de composto B com turfa; Substrato 3- plantas desenvolvidas na mistura de composto C com turfa; Substrato 4- plantas desenvolvidas na mistura de composto D com turfa. As barras verticais representam o erro padrão. ($P \leq 0,001$; $n=20$).

Na Figura 22 estão representados os pesos secos da parte aérea das alfaces recolhidas para análise e é possível verificar que os substratos 2 e 3, que representam a mistura do composto B com turfa e a mistura do composto C com turfa, respectivamente, nas proporções 25/75 e 50/50, são superiores aos pesos secos das alfaces produzidas em turfa. O tratamento estatístico realizado permitiu identificar que o substrato 2, constituído por composto B e turfa, nas proporções 25% de composto B e 75% de turfa e 50% de composto B e 50% de turfa é a melhor opção para substituir a turfa na sementeira.

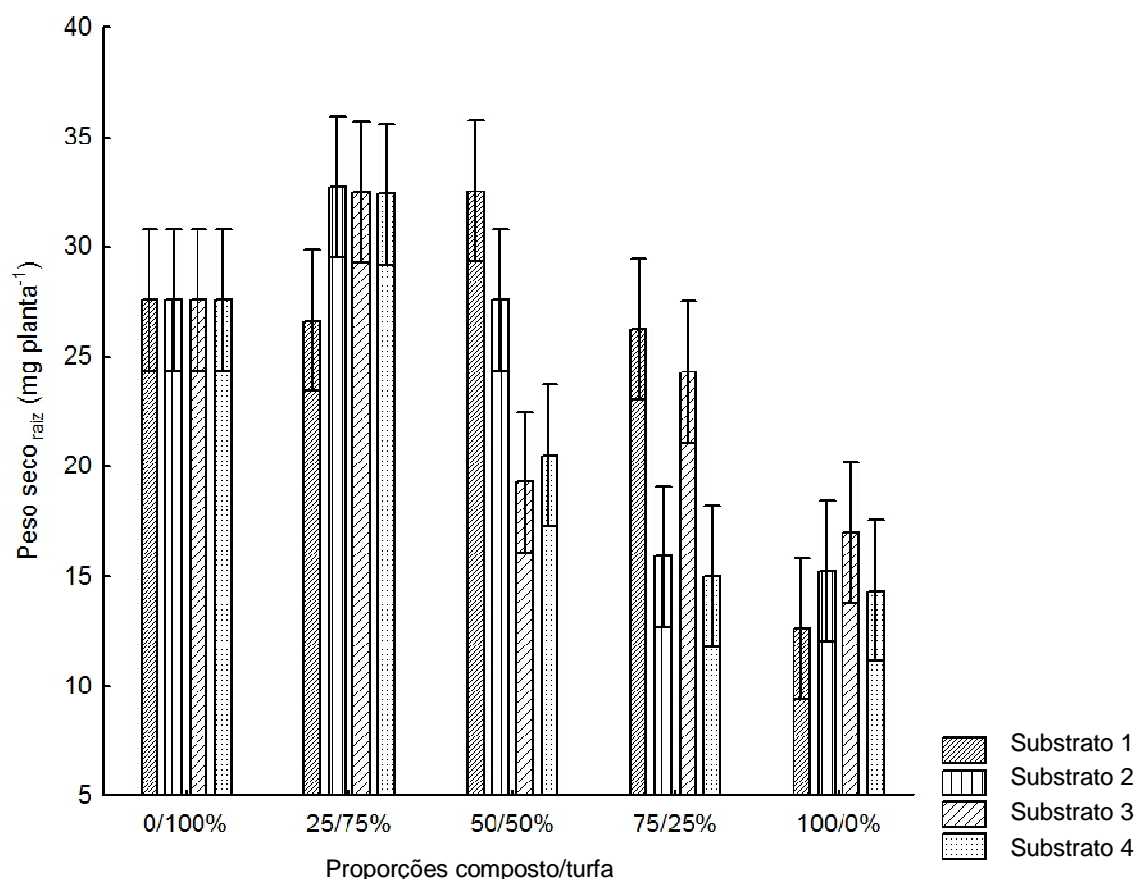


Figura 23 - Gráfico representativo do peso seco da parte radicular das alfaces (mg/planta) recolhidas à saída do viveiro. Substrato 1- plantas desenvolvidas na mistura de composto A com turfa; Substrato 2- plantas desenvolvidas na mistura de composto B com turfa; Substrato 3- plantas desenvolvidas na mistura de composto C com turfa; Substrato 4- plantas desenvolvidas na mistura de composto D com turfa. As barras verticais representam o erro padrão. ($P \leq 0,001$; $n=20$).

No gráfico representativo do peso seco da parte radicular das alfaces é possível confirmar a preferência pelo substrato 2, uma vez que também na parte radicular, as alfaces produzidas neste substrato, tiveram um peso superior ao da turfa.

As análises realizadas às alfaces produzidas nas diferentes proporções composto/turfa poderam justificar, de uma forma mais concreta, o desenvolvimento das plantas.

No Quadro 41 apresentam-se os resultados das análises efectuadas a amostras de alfaces obtidas em cada proporção composto/turfa ensaiada, no Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.

Quadro 41 - Análises foliares de todas as proporções estudadas no ensaio de germinação e crescimento

Tratamentos	m.s. (%)	% na m.s. (100-105)°C						mg/kg na m.s. (100-105)°C					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Turfa	93,34	2,84	0,30	2,80	0,76	0,36	0,19	10138	215	185	69	48	15
25/75 A	92,35	4,73	0,65	8,04	0,81	0,39	0,23	14756	136	235	110	36	23
50/50 A	91,89	5,36	0,65	8,43	0,73	0,46	0,17	18759	152	204	113	37	26
75/25 A	91,95	5,16	0,57	8,41	0,54	0,44	0,13	22165	140	126	85	25	24
100 A	92,32	4,99	0,52	8,37	0,45	0,45	0,30	24521	162	108	76	31	23
25/75 B	91,06	5,22	0,76	9,00	0,84	0,45	0,17	15348	157	256	117	32	24
50/50 B	90,14	5,82	0,75	8,44	0,82	0,49	0,22	19179	165	248	119	37	26
75/25 B	90,41	5,53	0,73	8,39	0,71	0,49	0,21	23787	125	142	105	39	27
100 B	90,68	5,34	0,77	8,45	0,65	0,55	0,21	24507	127	153	107	43	27
25/75 C	90,70	5,38	0,82	7,98	0,91	0,44	0,21	14818	126	310	144	43	23
50/50 C	91,31	5,74	0,69	8,06	0,71	0,44	0,18	18994	183	221	119	46	25
75/25 C	91,79	5,69	0,72	8,20	0,63	0,47	0,18	24218	113	184	134	43	27
100 C	90,59	4,91	0,54	7,85	0,81	0,41	0,15	25766	135	158	109	36	22
25/75 D	91,51	3,14	0,61	6,56	0,80	0,34	0,08	13648	93	215	97	27	22
50/50 D	94,78	3,28	0,51	5,97	0,65	0,34	0,09	16698	168	145	93	31	22
75/25 D	92,54	3,49	0,59	6,34	0,63	0,42	0,10	22208	172	145	149	28	24
100 D	91,42	4,44	0,57	7,34	0,46	0,42	0,11	26555	306	120	133	40	28

Na maioria dos elementos analisados foi possível verificar que as plantas obtidas nas proporções composto/turfa têm teores mais elevados do que a turfa. A turfa mostrou-se mais rica do que as proporções estudadas no caso do ferro, com exceção da proporção 100 D que apresentou um teor de ferro superior ao da turfa. Também os teores de cálcio da turfa se mostraram superiores aos observados nas plantas das proporções 50/50 A e D, nas proporções 75/25 A, B, C e D e nas proporções 100 A, B e D.

Os teores de sódio de todas as proporções revelaram-se muito superiores aos da turfa, o que pode justificar o desenvolvimento mais deficiente das plantas nas proporções com maior quantidade de composto, uma vez que também se observou uma tonalidade amarelada nestas alfaces, devido à excessiva salinidade que dificultou a absorção de água e, por sua vez, dos nutrientes.

Na Figura 24 é possível observar as diferenças que existiam nas plantas produzidas nas diferentes proporções do composto D. As plantas produzidas nas proporções 75/25 e 100 estavam pequenas e amareladas e por isso, não tinham a qualidade desejável no viveiro, razão pela qual estas plantas foram rejeitadas. É possível que as alfaces produzidas nestas proporções recuperassem ao serem plantadas, mas uma vez que o objectivo do viveiro é vender plantas de qualidade à sua saída, optámos por não as plantar.



Figura 24 – Comparação entre as plantas produzidas nas diferentes proporções do composto D e a turfa (esquerda em cima: turfa; esquerda em baixo: 25/75 D; direita em cima: 50/50 D; direita em baixo: 75/25 D, centro em baixo: 100 D)

As alfaces produzidas nas proporções 25/75 e 50/50 de cada composto e na turfa, foram plantadas no dia 27 de Janeiro de 2009, de modo a realizar o ensaio de crescimento, que ajudou a verificar a maturidade e viabilidade dos compostos como substitutos da turfa.

O ensaio de crescimento decorreu durante 9 semanas, na estufa de um produtor, entre outras alfaces que não faziam parte do ensaio e foram tratadas do mesmo modo que todas as plantas presentes nessa estufa.

No Quadro 43 constam os pesos médios das alfaces plantadas e verifica-se que apenas as plantas das proporções 25/75 A, 25/75D e 50/50 D, tiveram um peso inferior ao das plantas testemunha. Mesmo assim, este peso é perfeitamente aceitável para a venda das plantas.

Quadro 43 – Peso médio por alface, em gramas, nas diferentes proporções plantadas

	Peso médio por alface (g)
Turfa	252,21
25/75 A	224,04
50/50 A	288,66
25/75 B	268,98
50/50 B	303,98
25/75 C	302,54
50/50 C	274,01
25/75 D	247,92
50/50 D	242,08

Estes resultados parecem sugerir que é possível substituir metade da turfa utilizada no viveiro, fazendo uma boa gestão de resíduos das duas explorações e reduzindo a exploração das turfeiras.

Por fim, na Figura 25 pode-se verificar que o aproveitamento da fracção superior a 0,5 mm dos compostos, para plantação de flores, é possível.



Figura 25 – Imagem de um amor-perfeito desenvolvido na fracção superior a 0,5 mm dos compostos



Figura 26 – Imagem das alfaces após a colheita

5. Conclusões

O principal objectivo do estudo ora apresentado foi encontrar um possível substituto da turfa, fazendo uma boa gestão de resíduos das explorações agro-pecuárias Germiplanta, Viveiros de plantas Lda. e Uziel Carvalho Lda. Para isso prepararam-se quatro compostos com os resíduos existentes nas explorações, os quais após a realização de ensaios de germinação e de crescimento, se revelaram possíveis substitutos de uma parte da turfa utilizada nos viveiros.

Após uma recolha de dados da empresa Germiplanta, concluiu-se que no ano de 2008 foram adquiridas 652,8 t de turfa. Esta compra teve um valor de 152 884 €. Uma vez que o interesse desta empresa é o seu crescimento e continuidade e que a turfa é um recurso não renovável e cada vez mais caro, o composto poderá ser uma alternativa, ou pelo menos, poderá ajudar à redução de custos desta empresa.

Como já foi referido, cada uma das quatro pilhas de materiais iniciais a compostar, tinha um peso total inicial de 120 kg. Após a compostagem (108 dias) foram obtidos, em média, 40 kg de composto maturado e higienizado.

Os resíduos existentes nas explorações eram uma preocupação constante para as empresas, visto serem demasiados - 4758 t de estrume, 109,8 t de desperdícios de comida dos animais, 347,7 t de serradura fina, 20,5 t de corte de alho/cebola e 71,3 t de plantas e turfa. Podemos tomar como referência 5307,3 t de resíduos no ano de 2008 e verificar que se conseguem produzir 1769 t de composto, aproximadamente. Como se verificou as proporções 25% de composto e 75% de turfa e 50% de composto e 50% de turfa revelaram um comportamento nos ensaios de germinação e de crescimento, que nos leva a concluir que estas proporções são possíveis. No ensaio de germinação estas proporções em todos os compostos obtidos, mostraram resultados muito idênticos aos da turfa e até mesmo superiores. O mesmo se verificou no ensaio de crescimento em viveiro e em estufa, pois a matéria seca das alfaces produzidas nestas proporções, revelou valores iguais ou superiores aos das alfaces produzidas na turfa, assim como o peso das alfaces na colheita permitiu reforçar o que já se verificava. Os compostos obtidos permitiam substituir 50% da turfa utilizada nos viveiros. O tratamento estatístico realizado permitiu identificar que o substrato 2, constituído por composto B e turfa, nas proporções 25% de composto B e 75% de turfa e 50% de composto B e 50% de turfa é a melhor opção para substituir a turfa na sementeira, uma vez que apresentou melhores resultados e permitiu a utilização de todos os resíduos existentes nas explorações.

Esta redução de 76 442 € é bastante significativa, podendo contribuir para os objectivos de redução dos custos variáveis da empresa Germiplanta e para uma melhor gestão de resíduos de ambas as empresas.

Ao concluir este trabalho, pensamos que os objectivos a que nos propusemos foram alcançados. No entanto, consideramos que para a sua continuidade seria importante o estudo dos seguintes aspectos:

- Preparar novos compostos corrigindo alguns parâmetros que se revelaram impeditivos de melhores resultados;
- Ensaiai plantas de outras espécies, menos susceptíveis a uma condutividade eléctrica elevada;
- Inocular doenças preocupantes das espécies estudadas de modo a verificar se o composto reduz a sua susceptibilidade;
- Aplicar este trabalho nas empresas em causa, promovendo menores gastos com a turfa;
- Realizar um estudo económico mais aprofundado de modo a investir neste projecto com visão para o futuro.

6. Bibliografia

- Bugbee, G. (1994). *Growth of Rudbeckia and leaching of nitrates in potting media amended with composted coffee processing residue, municipal solid waste and sewage sludge*. Compost Science & Utilization, Vol. 2, Nº 1, 72-79.
- Bidlingmaier, W. (1996). *Odour emissions from composting plants*. Em De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. *The Science of Composting*, Vol. I. Blackie Academic & Professional, London, 71-79.
- Bugbee, G. (1996). *Growth of Rhododendron, Rudbeckia and Thuja and the leaching of nitrates as affected by the pH of potting media amended with biosolids compost*. Compost Science & Utilization, Vol. 4, Nº 1, 73-79.
- Calderón, M. P., Bouzada, D. (2008). *Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal*. Em Moreno Casco, J., Moral Herrero, R. *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 15-17.
- Campbell, S. (2005). *Deixe apodrecer!* Coleção Euroagro, Publicações Europa-América, Mem Martins.
- Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R., Melis, P. (2005). *Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity*. Waste Management, Vol. 25, Nº 2, 209-213.
- Chiara, E., Berjón, M. (2008). *Aplicación del compost en viveros y semilleros*, Em Moreno Casco, J., Moral Herrero, R., *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 399-424.
- Chong, C., Cline, R. (1996). *Response of container-grown nursery crops to raw and composted paper mill sludges*. Compost Science & Utilization, Vol. 2, Nº 3, 90-96.
- Clark, S., Cavigelli, M. (2005). *Suitability of composts as potting media for production of organic vegetable transplants*. Compost Science & Utilization, Vol. 13, Nº 2, 150-156.
- Duarte, L., Pacheco, Dias, J. (1998). *Métodos de análise de material vegetal*. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva/Ministério do Desenvolvimento Rural, da Agricultura e das Pescas, Lisboa, 108 pp.
- Ekinici, K., Keener, H. M., Elwell, D. L. (2004). *Effects of aeration strategies on the composting process*. Part I. Experimental studies. Transactions of the ASAE, Vol. 47, Nº. 5, 1697-1708.

- Gajdos, R. (1992). *The use of organic waste materials as organic fertilizers – Recycling of plant nutrients*. Composting, use of wastes, Acta Horticulturae 302, 325-331.
- Gajdos, R. (1997). *Effects of two composts and seven commercial cultivation media on germination and yield*. Compost Science & Utilization, Vol. 5, Nº 1, 16-37.
- Golueke, C., Díaz, L. (1987). *Composting and the limiting factors principle*. Biocycle, Vol. 28, Nº 4, 22-25.
- Goto, R., Tivelli, S. (1997). *Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais*. Editora UNESP, São Paulo, 137-159.
- Haug, R. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Hedegaard, M., Krüger, I. (1996). *Composting of agricultural waste in Denmark in respect of potential, industrial process technology and environmental considerations*. Em De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. *The Science of Composting*, Vol. I. Blackie Academic & Professional, London, 691-697.
- Hoitink, H., Tseng, D., Chalmers, J., Tuovinen, O. (1995). *Characterization of a bench-scale system for studying the biodegradation of organic solid wastes*. Biotechnology progress, Vol. 11, Nº4, 443-451.
- Jeris, J., Regan, R. (1973). *Controlling environmental parameters for optimum composting*. Part II, Compost Science, Vol. 14, 8-15.
- Jiménez, E., Silva, M., Egea, F. (2008). *Indicadores de la estabilidad y madurez del compost*, Em Moreno Casco, J., Moral Herrero, R., *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 245-275.
- Jhorar, B., Phogat, V., Malik, E. (1991). *Kinetics of composting rice straw with glue Waste at different C/N ratios in a semiarid environment*. Arid soil research and rehabilitation, Vol. 5, 297-306.
- Kahn, B., Hyde, J., Cole, J., Stoffella, P., Graetz, D. (2005). *Replacement of a peat-lite medium with compost for cauliflower transplant production*. Compost Science & Utilization, Vol.13, Nº 3, 175-179.
- Kalamdhad, A., Pasha, M., Kazmi, A. (2008). *Stability evaluation of compost by respiration techniques in a rotary drum composter*. Resources, Conservation and Recycling. 52, 829-834
- Kiehl, F. (1985). *Fertilizantes orgânicos*. Editora Agronômica Ceres Lda, São Paulo.

- Kostov, O., Tzvetkov, Y., Kaloianova, N., Van Cleemput, O. (1996). *Production of tomato seedlings on composts of vine branches and grape prunings, kuskus and seeds*. Compost Science & Utilization, Vol.4, Nº 2, 55-61.
- Kulcu, R., Yaldiz, O. (2004). *Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes*. Bioresource Technology, Vol. 93, Nº 1, 49-57.
- Liang, C., Das, K. C., McClendon, R. W. (2003). *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend*. Bioresource Technology. 86, 131-137.
- Madeira, A., Abreu, M. (2004). *Comunicar em ciência. Como redigir e apresentar trabalhos científicos*. Escolar Editora, Lisboa, 17-78.
- Madejón, E., Díaz, M., López, R., Cabrera, F. (2001). *Co-composting of sugarbeet vinasse: influence of the organic matter nature of the bulking agents used*. Bioresource Technology. 76, 275-278.
- Madejón, E., Díaz, M., López, R., Cabrera, F. (2002). *New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials*. Bioresource Technology. 85, 73-78.
- Márquez, P., Blanco, M. (2008). *Factores que afectan al proceso de compostaje*, Em Moreno Casco, J., Moral Herrero, R., *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 95-106.
- Martins, J. R. R. (2004). *Estudo comparativo da compostagem da fracção sólida de chorume de suinicultura com e sem adição de agentes estruturantes/condicionantes*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica. ISA, Lisboa, 27-30.
- Miyatake, F., Iwabuchi, K. (2006). *Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure*. Bioresource Technology. 97, 961-965.
- Moreno Casco, J., Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Mupondi, L., Mnkeni, P., Brutsch, M. (2006). *Evaluation of pine bark or pine bark with goat manure or sewage sludge cocomposts as growing media for vegetable seedlings*. Compost Science & Utilization, Vol.14, Nº 4, 238-243.
- Olszewski, N., Trego, T., Kuper, R. (2009). *Effects of peat moss substitution with arboretum and greenhouse waste compost for use in container media*. Compost Science & Utilization, Vol.17, Nº 3, 151-157.
- Pinamonti, F., Stringari, G., Zorzi, G. (1997). *Use of compost in soilless cultivation*. Compost Science & Utilization, Vol.5, 38-46.

- Raviv, M. (1998). *Horticultural uses of composted material*. Acta Horticulturae 469, 225-234.
- Raviv, M., Zaidman, B. Z., Kapulnik, Y. (1998). *The use of compost as a peat substitute for organic vegetable transplants production*. Compost Science & Utilization, Vol.6, Nº 1, 46-52.
- Ribeiro, H., Vasconcelos, E., Quelhas dos Santos, J. (2000). *Fertilisation of potted geranium with a municipal solid waste compost*. Bioresource Technology. 73, 247-249.
- Sánchez-Monedero, M., Roig, A., Paredes, C., Bernal, M. (2001). *Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures*. Bioresource Technology, Vol. 78, Nº 3, 301-308.
- Sánchez-Monedero, M., Roig, A., Cegarra, J., Bernal, M., Noguera, P., Abad, M., Antón, A. (2004). *Composts as media constituents for vegetable transplant production*. Compost Science & Utilization, Vol. 12, Nº 2, 161-168.
- Shulze, K. (1962). *Continuous thermophilic composting*. Applied Microbiology, Vol. 10, Nº2, 108-122.
- Suler, D., Finstein, S. (1997). *Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in Bench-Scale, continuously thermophilic composting of solid waste*. Applied and Environmental Microbiology, Vol. 33, Nº 2, 345-350.
- Sullivan, D., Miller, R. (2001). *Compost quality, attributes, measurements and variability*, em : Stoffella, P., Kahn, B. (2001). *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. Lewis publ., Boca Raton; FL.; 95-119.
- Sundberg, C., Smars, S., Jonsson, H. (2004). *Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting*. Bioresource technology, Vol. 95, Nº 2, 145-150.
- Sung, M., Ritter, W. (2008). *Food waste composting with composting with selected paper products*. Compost Science & Utilization, Vol. 16, Nº 1, 36-42.
- Tchobanogolus, G., Theisen, H., Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Ed. McGraw-Hill, Madrid. Vol. 1. 107 págs.
- Tomati, U., Madejon, E., Galli, E. (2000). *Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability*. Compost Science & Utilization, Vol. 8, Nº 2, 108-150.
- Torrentó, M., Martínez, M., Pujol, O. (2008). *Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje*, Em Moreno Casco, J., Moral Herrero, R., *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 76-90.

- Verdonck, O., Penninck, R. (1985). *The composting of bark with soy scrap sludge*. Acta Horticulturae 172, 183-187.
- Wang, W., Wang, X., Liu, J., Ishii, M., Igarashi, Y., Cui, Z. (2007). *Effect of oxygen concentration on the composting process and maturity*. Compost Science & Utilization, Vol. 15, N° 3, 184-190.
- Wichuk, K., McCartney, D. (2008). *Development of time-temperature probes for tracking pathogen inactivation during composting*. Compost Science & Utilization, Vol. 16, N° 2, 99-113.
- Zhu, N. (2006). *Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system*. Bioresource Technology, Vol. 97, N° 15, 1870-1875.
- Zucconi, F., De Bertoldi, M. (1987). *Specifications for solid waste compost*. Biocycle, Vol. 28, N° 5/6, 56-61.